

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**
ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ

ПРОБЛЕМЫ ГЕОЛОГИИ И ОСВОЕНИЯ НЕДР

Том I

*Прруды XXIX Международного молодежного научного симпозиума
имени академика М.А. Усова,
посвященного 80-летию Победы в Великой Отечественной войне*

Томск 2025

УДК 504(063)

ББК 20.1л0

П78

П78 **Проблемы геологии и освоения недр** : труды XXIX Международного молодежного научного симпозиума имени академика М.А. Усова, посвященного 80-летию Победы в Великой Отечественной войне. Том 1 / Томский политехнический университет. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2025. – 245 с.

ISBN 978-5-4387-1275-6 (т. 1)

ISBN 978-5-4387-1274-9

В сборнике отражены проблемы палеонтологии, стратиграфии, тектоники, исторической и региональной геологии, минералогии, геохимии, петрологии, литологии, полезных ископаемых, металлогении, гидрогеологии, гидрогеохимии, инженерной геологии, геофизики, нефтяной геологии, геоинформационных систем в геологии, разработки нефтяных и газовых месторождений, переработки углеводородного и минерального сырья, нефтегазопромыслового оборудования, бурения нефтяных и газовых скважин, техники и технологии разведки и добычи, транспорта и хранения нефти и газа, горного дела, технологии и техники разведки месторождений полезных ископаемых, геоэкологии, гидрогеоэкологии, охраны и инженерной защиты окружающей среды, комплексного использования минерального сырья, землеустройства, экономики минерального сырья и горного права. Статьи даны в авторской редакции.

УДК 504(063)

ББК 20.1л0

Главный редактор – А.С. Боев, к.х.н., директор ИШПР

Ответственный редактор – Е.Ю. Пасечник, к.г.-м.н., доцент.

Ответственные редакторы секций:

Секция 1 – Н.М. Недоливко, к.г.-м.н., доцент;

Секция 2 – М.А. Рудмин, к.г.-м.н., доцент;

Секция 3 – Ю.В. Колмаков, д.г.-м.н., доцент;

Секция 4 – Н.В. Гусева, д.г.-м.н., профессор;

Секция 5 – Б.Р. Соктоев, к.г.-м.н., доцент;

Секция 6 – А.С. Боев, к.х.н., директор ИШПР;

Секция 7 – А.В. Шадрина, д.т.н., профессор;

Секция 8 – Е.Н. Ивашкина, д.т.н., профессор;

Секция 9 – П.А. Стрижак, д.ф.-м.н., профессор;

Технический редактор – И.В. Павлова, ведущий эксперт.

ISBN 978-5-4387-1275-6 (т. 1)

ISBN 978-5-4387-1274-9

© ФГАОУ ВО НИ ТПУ, 2025

PROBLEMS OF GEOLOGY AND SUBSURFACE DEVELOPMENT

Part I

*Proceedings of the 29th International Scientific Symposium
of students, postgraduates and young scientists devoted to the 80th Anniversary
of the Victory in the Great Patriotic War*

Tomsk 2025

UDC 504(063)

BBC 20.1.10

P78

- P78 **Problems of Geology and Subsurface Development** : Proceedings of the 29th International Scientific Symposium of students, postgraduates and young scientists devoted to the 80th anniversary of the Victory in the Great Patriotic War. Part 1 / Tomsk Polytechnic University. – Tomsk : Tomsk Polytechnic University Publishing House, 2025. – 245 p.

Problems of paleontology, stratigraphy, tectonics, historical and regional geology, mineralogy, geochemistry, petrology, lithology, mineral products, hydrogeology, hydrogeochemistry, engineering geology, geophysics, oil geology, hydrocarbon and minerals refining, oil and gas fields development, oil field equipment, well drilling, techniques and technology of oil and gas transportation and storage, mining, exploration technique, geoecology, environmental protection, complex mineral resource usage, land management, mineral economics and mining law were discussed. Articles autographed by authors.

UDC 504(063)

BBC 20.1.10

Editor-in-chief – Editor-in-chief – A.S. Boev, PhD (in Chemistry)

Director for Science and Academic Affairs,

Executive editor – E.Y. Pasechnik, Associate Professor, PhD (in Mineralogy)

Panels' executive editors:

Panel 1 – N.M. Nedolivko, Associate Professor, PhD (in Mineralogy);

Panel 2 – M.A. Rudmin, Associate Professor, PhD (in Mineralogy);

Panel 3 – U.V. Kolmakov, Associate Professor, PhD (in Mineralogy);

Panel 4 – N.V. Guseva, Professor, Dsc (in Mineralogy);

Panel 5 – B.R. Soktoev, Associate Professor, PhD (in Mineralogy);

Panel 6 – A.S. Boev, Director for Science and Academic Affairs, PhD (in Chemistry);

Panel 7 – A.V. Shadrina, Professor (Engineering Sciences);

Panel 8 – E.N. Ivashkina, Professor, Dsc (Engineering Sciences);

Panel 9 – P.A. Strizhak, Dsc (Physico-Mathematical Sciences);

Technical editor – I.V. Pavlova, expert of organization department of School of Earth Sciences & Engineering.

ПРЕДИСЛОВИЕ

В Национальном исследовательском Томском политехническом университете (ТПУ) 7-11 апреля 2025 г. состоялся XXIX Международный научный симпозиум имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых «Проблемы геологии и освоения недр», посвященный 125-летию со дня рождения академика Академии наук СССР, профессора К.И. Сатпаева и 130-летию со дня рождения члена-корреспондента Академии наук СССР, профессора Ф.Н. Шахова.

Организация и проведение XXIX Международного научного симпозиума «Проблемы геологии и освоения недр» осуществлялась при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ и была поручена Инженерной школе природных ресурсов (ИШПР) Национального исследовательского Томского политехнического университета, старейшего высшего технического учебного заведения в подготовке геологических кадров и высоких достижений в научных исследованиях. Инженерная школа природных ресурсов (в прошлом ГРФ, НГФ, ИГНД, ИПР) была основана в 1901 г. как горное отделение Томского технологического института В.А. Обручевым – первым штатным геологом Сибири, впоследствии ставшим академиком АН СССР, Героем Социалистического Труда, первым в нашей стране лауреатом Ленинской премии.

Горное отделение ТТИ являлось родоначальником геологического образования и геологической науки в азиатской части России. Созданная В.А. Обручевым и М.А. Усовым Сибирская горно-геологическая школа сыграла и сегодня продолжает играть важную роль в открытии, изучении и освоении минерально-сырьевых ресурсов не только Сибири, Дальнего Востока и Северо-Востока нашей страны, но и Средней Азии.

Среди выпускников – целая плеяда выдающихся ученых, инженеров и организаторов производства. Это М.А. Усов – ученик и первый аспирант В.А. Обручева, первый из числа выпускников научной школы (факультета) – профессор и первый из сибиряков – академик, с именем которого связано становление горнодобывающей промышленности Сибири и первенца ее геологической службы – Сибгеолкома; академик К.И. Сатпаев – организатор и первый президент Академии наук Казахстана; профессор Н.Н. Урванцев, первооткрыватель уникального Норильского рудного региона, Заслуженный полярник СССР; профессор М.К. Коровин, первым указавшей на перспективы нефтегазоносности Западной Сибири и многие другие. Из более чем 35 тысяч выпускников научной школы (факультета) более 450 стали первооткрывателями месторождений полезных ископаемых, 1 – Лауреатом Нобелевской премии, 50 – Лауреатами Ленинской и Государственной премий, более 270 – докторами и более 1700 – кандидатами наук. Из стен ИШПР вышло 15 академиков и членов-корреспондентов Академии Наук СССР (РАН), 5 Героев Социалистического Труда.

Сегодня Инженерная школа природных ресурсов ТПУ представляет собой крупный учебный (почти 2000 студентов, обучающихся по очной форме обучения) и научный центр в области геологии, поисков, разведки и разработки разнообразных полезных ископаемых, в том числе геологии углеводородного сырья и его переработки, нефтегазодобычи, транспорта и хранения нефти и газа. С момента основания в ИШПР ТПУ успешно осуществлялось единство научно-исследовательской работы по фундаментальным и прикладным наукам – высшего образования и производственной деятельности, создавались и развивались богатые традиции НИРС, бережно сохраняемые и развиваемые и по сей день.

В 2025 г. симпозиум проводился в гибридном формате: участники представляли свои доклады очно, а также имели возможность выступить онлайн.

Симпозиум работал одновременно по 10 секциям: 1 секция – Палеогеография и эволюция осадочных бассейнов (геология нефти и газа; палеонтология, стратиграфия и региональная геология; методы поисков и разведки углеводородного сырья); 2 секция – Рудообразующие системы: проблемы минералогии, геохимии и петрологии; 3 секция – Геофизические методы исследования природных и техногенных систем; 4 секция – Гидрогеология, инженерная геология и землеустройство; 5 секция – Геоэкология и геохимия окружающей среды; 6 секция – Технологии оценки, управления и разработки месторождений нефти и газа, моделирование и цифровые технологии; 7 секция – Транспортировка и хранение нефти и газа; 8 секция – Химические технологии переработки минерального и углеводородного сырья; 9 секция – Энергоснабжение и автоматизация объектов нефтегазовой промышленности; 10 секция – Юные исследователи в Науках о Земле (доклады школьников).

Заявки для участия в симпозиуме подали 370 авторов из России, ближнего и дальнего зарубежья, 191 участник из Томска и 114 иностранных участников, все доклады были заслушаны в гибридном формате.

По отраслевой принадлежности участники были представлены следующим образом: из ВУЗов: из них Томский политехнический университет – 179, Томский государственный университет – 20, Томский государственный архитектурно-строительный университет – 2, Ангарский государственный технический университет – 6, Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, г. Улан-Удэ – 1, Иркутский национальный исследовательский технический университет – 2, Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань – 4, Кемеровский государственный университет – 1, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева – 1, Кубанский государственный университет – 3, Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, г. Москва – 4, Новосибирский государственный университет – 4, Пермский национальный исследовательский политехнический университет – 3, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II – 2, Санкт-Петербургский государственный университет – 2, Сибирский государственный университет геосистем и технологий – 1, Сибирский федеральный университет – 8, Саяно-Шушенский филиал Сибирского федерального университета – 1, Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова – 1, Тюменский индустриальный университет – 4, Уфимский университет науки и технологий – 1, Югорский государственный университет – 7, Кокшетауский университет им. Ш. Уалиханова – 2, из средних специальных образовательных учреждений: Томский политехнический техникум – 2; из школ – 20; из НАН: Геологический институт

им. Н.Л. Добрецова СО РАН, г. Улан-Удэ – 2, Дальневосточный геологический институт ДВО РАН – 2, Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН – 2, Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН – 2, Институт геологии УФИЦ РАН – 3, Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лаверова УрО РАН, г. Архангельск – 3, Институт геологии и сейсмологии, г. Кишинев, Республика Молдова – 2, Институт геофизических исследований, Казахстан г. Курчатов – 1, Филиал НЯЦ РК Институт радиационной безопасности и экологии, Казахстан г. Курчатов – 1, Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр СО РАН» – обособленное подразделение Института проблем нефти и газа СО РАН – 5, Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН – 1; Институт химии нефти СО РАН – 5, Институт горного дела УрО РАН – 8; из НИИ: АО «ТомскНИПИнефть» – 15, ООО «Сахалиннефть Нефти и Газ» – 1, Научно-технический центр ядерной и радиационной безопасности – 6, ООО «РН-КрасноярскНИПИнефть» – 2, ООО «Тюменский нефтяной научный центр» – 6, Новосибирский филиал ФГБУ Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт – 2; из предприятий: АО «НАК «Казатомпром» – 2, Сибирский региональный центр ГМСН» Филиал ФГБУ «Гидроспецгеология» – 1, «Инженерно-технический центр «ДЖЭТ» – 1, Группа компаний «Газпром Нефть» – 2, ЕСК СУЭК Назаровский РМЗ – 1, ООО «ПетроГМ» – 1.

Статус участников Симпозиума, выступивших с докладами, следующий: школьников – 20, студентов средних специальных образовательных учреждений – 2, студентов ВУЗов – 174, молодых ученых – 132.

Дальнее зарубежье было представлено странами: Ирака, Египта, Китая, Индонезии, Эквадора, Мали и других. Ближнее зарубежье (страны СНГ) было представлено странами: Республика Казахстан, Республика Узбекистан, Республика Молдова.

Перед участниками симпозиума на открытии каждой секции выступали ведущие ученые, профессора, представители ведущих производственных организаций, которые осветили проблемы и перспективы развития науки по каждому из 10 научных направлений секций.

Конкурсные комиссии секций подчеркнули высокий научный уровень докладов участников, часть из которых отличаются новизной и оригинальностью идей. Доложенные результаты лучших научных работ актуальны, отражают исследования, как в области фундаментальных наук, так и имеют важное прикладное значение и, при дальнейшей научной разработке, могут быть представлены в виде диссертаций на соискание ученых степеней. Авторы научных работ продемонстрировали владение современными методами научных исследований. Многие доклады являются частью грантов и договоров, могут быть использованы на производстве. Результаты исследований по ряду представленных докладов имеют акты внедрения и патенты. Участники из других ВУЗов и научных организаций отметили высокий организационный уровень проведения симпозиума.

Во время работы XXIX Международного симпозиума был проведен конкурс лучших научных докладов. Лауреаты конкурса лучших докладов по всем научным направлениям (секциям) традиционно награждены дипломами и призами. Всем участникам симпозиума были выданы сертификаты. Все результаты симпозиума размещены на сайте <http://usovma.tpu.ru>.

В рамках Симпозиума сотрудниками Научно-технической библиотеки ТПУ была подготовлена выставка: посвященная 125-летию со дня рождения академика Академии наук СССР, профессора К.И. Сатпаева и 130-летию со дня рождения члена-корреспондента Академии наук СССР, профессора Ф.Н. Шахова.

В рамках Симпозиума силами Центра Хериот-Ватт Томского политехнического университета проводилась деловая игра «Синтез Лайт» в которой приняли участие студенты, а также преподаватели. С целью популяризации научных исследований и развития творческого потенциала молодых ученых в рамках Симпозиума проведен фотоконкурс по номинациям: «Держись, ученый!», «Молодые ученые в лаборатории», «Природа – художник»; «Макронаука». Итоги конкурса публиковались в телеграм канале https://t.me/nauch_megorg.

В рамках Симпозиума сотрудниками Научно-технической библиотеки ТПУ была подготовлена выставка, посвященная геологам – участникам Великой Отечественной войны.

Сборник научных трудов симпозиума зарегистрирован в базе РИНЦ. Материалы и итоги симпозиума размещены на сайте симпозиума.

В своих отчетах о работе секций председатели и секретари отмечают лучшие доклады и важные моменты в работе их секций.

Тематика работ **секции 1 «Палеогеография и эволюция осадочных бассейнов»** посвящена широкому спектру вопросов в области палеонтологии, стратиграфии, региональной геологии, геологии нефтегазоносных бассейнов. Объекты исследования охватывали широкий стратиграфический диапазон – от венда до четвертичного периода: изучались карбонатные, терригенные и углеродистые осадочные отложения, сформированные в различные геологические эпохи. Актуальные темы, затронутые докладчиками, рассматривались с помощью новейших методов изучения горных пород, рассеянного органического вещества, заключенного в них, и органических остатков. В докладах активно использовались как традиционные (палеонтологические, биостратиграфические, литолого-фациальные, литохимические, геофизические и др.), так и современные методы, опирающиеся на результаты хромато-масс-спектрометрии, пиролитических, рентгенофлуоресцентных, рентгеноспектральных, изотопных и др. видов анализов; трассерные исследования, газовая съемка.

Также были заслушаны доклады посвященные поиску и разведке нефтяных и газовых месторождений; методам изучения карбонатных, терригенных и нетрадиционных пород-коллекторов; реконструкциям условий осадконакопления отложений, вмещающих залежи нефти и газа, вторичным преобразованиям пород в связи с глубинной углеводородной флюидомиграцией; новым технологиям лабораторных исследований нефтегазовмещающих пород, основным направлениям и перспективам развития нефтегазовых комплексов, геологической интерпретации данных геофизических исследований скважин, геологическому моделированию.

Обращает на себя внимание тот факт, что часть работ выполнена в рамках Госзадания РАН, грантов Российского научного фонда, Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Доклады, представленные на **секцию 2 «Рудообразующие системы: проблемы минералогии, геохимии и петрологии»** полностью соответствовали тематике секции. Актуальность докладов участников заключается в решении научных и практических проблем в области исследования геологических аспектов месторождений полезных ископаемых, затрагивающих вопросы вещественного состава пород и руд, благородной минерализации, термобарогеохимии, геммологии, а также оптимизации процессов добычи полезных ископаемых разными способами обогащения. Необходимо отметить высокий уровень докладов молодых ученых, которые используют в своих научных работах как традиционные методы исследования (минералогические, минеграфические, инфракрасную спектроскопию, спектральный и рентгеноструктурный анализ, математическую статистику, геоинформационные методы и др.), так и новейшие методы.

Большой интерес вызвали результаты исследований Усольцовой А.Е., основанные на выполнении термобарометрии пород Архейского Тикшеозерского зеленокаменного пояса с применением расчетов мультиравновесных РТ-диаграмм, которые позволили выявить условия метаморфизма пород Кичанской структуры амфиболитовой фации повышенных давлений. Не меньший интерес вызвали работы, связанные с установлением влияния осложняющих факторов на эффективность добычи урана методом подземного выщелачивания.

В ходе работы **секции 3 «Геофизические методы исследования природных и техногенных систем»** были заслушаны и обсуждены доклады, охватывающие широкий спектр проблемных вопросов геофизики.

Наибольшее количество докладов были посвящены геофизическим исследованиям рудных регионов Центральной и Восточной Сибири. По данным наземной и аэрогеофизической съемок рассмотрены структуры физических полей Верхне-Енашиминского и Партизанского рудных узлов золотоносной провинции Енисейского кряжа и уникального золоторудного месторождения Сухой Лог в Патомском нагорье. Доказывается длительное, многостадийное развитие геофизических обстановок золотого оруденения.

Применительно к месторождениям углеводородов были затронуты вопросы поисково-разведочного содержания. В одном из докладов обосновывается необходимость картирования зон трещиноватости в нефтегазоносных провинциях Восточной Сибири на основе комплексных данных геофизических исследований скважин и сейсморазведки для оценки анизотропии проницаемости горных пород и прогноза вероятных путей миграции флюидов и участков их скопления в сложно построенных резервуарах. В другом – рассматривается несоответствие критических удельных сопротивлений горных пород в коллекторах тюменской свиты (Западная Сибирь), полученных по результатам фактических измерений и расчетным путем.

В области инженерно-экологических исследований были показаны результаты анализа аномальных физических свойств многолетнемерзлых пород и возможности геофизических методов для изучения структуры криолитозоны в северных регионах страны. По данным спутниковых снимков LANDSAT 8-9 были рассчитаны температуры и построена карта теплового поля земной поверхности г. Томска и его окрестностей, выявлены участки значительного теплового загрязнения на территории города.

В рамках фундаментальных сейсмологических исследований показано влияние землетрясения в афганской провинции Герат 7 октября 2023 года на вариации магнитного поля Земли: в индийских магнитных обсерваториях зарегистрированы короткопериодные возмущения в поле вектора магнитной индукции.

Секцию 4 «Гидрогеология, инженерная геология и землеустройство» открывала д.г.-м.н., заведующая кафедрой - руководителя отделения геологии на правах кафедры Н.В. Гусева с докладом, который был посвящен современным проблемным тематикам в области гидрогеологии, гидроэкологии, формированию водных ресурсов, инженерной геологии.

В докладах секции рассматривались актуальные вопросы и проблемы, изучаемые сегодня не только на всей территории нашей страны, но и ближнего и дальнего зарубежья: геохимия поверхностных, подземных и термальных вод, формы миграции химических, в т.ч. редкоземельных элементов и техногенные радионуклиды подземных вод, геоэкологическое состояние поверхностных и подземных водных объектов, водопритоки в подземные горные выработки, инженерно-геологические изыскания для строительства уникальных зданий и сооружений, изменчивость свойств грунтов и многие другие актуальные вопросы.

В представленных докладах по землеустройству и кадастрам отражены вопросы необходимости использования геоинформационных систем, обоснования градостроительных решений, кадастровой оценки земельных участков и объектов капитального строительства, прогнозирования и планирования урбанизированных территорий и транспортной инфраструктуры, вопросы, связанные с государственным кадастровым учетом земельных участков и зон с особыми условиями использования территорий, регистрацией прав на объекты недвижимости, точностью методов геодезической съемки и мониторинга земель, рационального и эффективного землепользования с нормативно-правовым регулированием землеустроительной и кадастровой деятельностью.

При подведении итогов конкурсным жюри отмечен высокий уровень представленных к обсуждению научно-исследовательских работ, актуальность поднятых вопросов и практико-ориентированность предложений для решения поставленных проблем.

Тематика работ **секции 5 «Геоэкология и геохимия окружающей среды»** посвящена вопросам, затрагивающим сферы геоэкологии, экологической геохимии, устойчивого развития территорий, функционирования и мониторинга природных и природно-технических систем, глобальных и региональных экологических кризисов, исторических (палеоэкологических и палеоклиматических) реконструкций, моделирования и прогноза современных изменений окружающей среды и климата, рационального природопользования, охраны и защиты окружающей среды. В рамках работы секции было представлено 3 пленарных доклада молодыми ведущими учеными из Новосибирска (К.А. Мезина, к.г.-м.н., Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СОП РАН, тема доклада – «Естественные и техногенные радионуклиды в системах «лишайник/мох – лесная подстилка» на территории Западной Сибири»), Томска (А.А. Слепушкина, Томский политехнический университет, ООО «Производственная безопасность и экология», тема доклада – «Автоматизация задач экологического мониторинга с применением отраслевого

программного продукта «1С:Экология. Охрана окружающей среды КОРП»), Петропавловска-Камчатского (О.В. Бергаль-Кувикас, к.г.-м.н., Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Камчатский государственный университет им. В. Беринга, тема доклада – «Условия формирования кальдереобразующих извержений Курильской островной дуги и их влияние на окружающую среду»). В секционных докладах, представленных бакалаврами, магистрантами, аспирантами и молодыми учеными, рассматривались существующие методики и подходы, а также новые перспективные методы оценки состояния окружающей среды и геоэкологического мониторинга, в том числе с использованием ГИС-технологий и методов ДЗЗ (дистанционного зондирования Земли). Доклады затрагивают экологические проблемы влияния и воздействия как природных, так и антропогенных факторов на состояние компонентов окружающей среды (атмосферы, гидросферы, литосферы, биосферы), способы снижения воздействия на окружающую среду от производственных циклов с использованием методов фиторемедиации, разработанных модифицированных сорбентов на основе природных и синтетических компонентов. Научные доклады имеют высокий научный уровень, характеризуются существенным личным вкладом авторов и практической применимостью. Большинство представленных работ выполнено в рамках реализации научных грантов (РНФ, Госзадания «Наука» и других) с использованием современного аналитического оборудования на базе ЦКП университетов и научных организаций России и других стран.

Тематика работ **секции 6 «Технологии оценки, управления и разработки месторождений нефти и газа, моделирование и цифровые технологии»**, освещают вопросы геолого-физической характеристики месторождений нефти и газа, локализацию и вовлечение в разработку остаточных запасов, современный подход и опыт разработки нефтяных, газовых и газоконденсатных месторождений, технологии и техники добычи нефти и газа в осложненных условиях. Представлены современные подходы к проектированию и усовершенствованию сооружений, технологических схем, к модернизации процессов добычи, сбора и подготовки нефти и газа, комплексные подходы к проведению геолого-технических мероприятий на скважинах месторождений, находящихся в поздней стадии разработки, опыт применения различных методов математического моделирования при разработке инновационных решений в области нефтегазового оборудования. Были представлены рабочие концентрации полимеров, обеспечивающие эффективное вытеснение нефти агентом в пласте, и проведена оценка изменения вязкости полимерного раствора при различных температурах. Эксплуатация скважин сопряжена с такими осложняющими факторами, как солеотложения, асфальтосмолопарафиновые отложения и гидратообразование. В докладах секции рассматриваются основные методы борьбы с осложнениями, приводится оценка их эффективности и направления дальнейшей работы по поиску и внедрению эффективных технологий. Высокая обводненность добываемой продукции остается в настоящее время одной из наиболее актуальных проблем эксплуатации скважин, в статьях рассмотрены особенности проблем избыточных водопритоков, базовые проблемы, приводящие к преждевременному обводнению, способы их определения и методы решения, а также современные методы и технологии регулирования процесса разработки и наиболее благоприятные геолого-физические условия их применения. В результате исследований выявлен положительный эффект рассматриваемых технологий и даны рекомендации по использованию той или иной технологии для получения наилучшего эффекта. Отдельную проблему представляет эксплуатация малодебитного фонда скважин, системный подход к анализу эксплуатации скважин, позволяющий осуществлять постоянный автоматизированный контроль параметров работы скважины, своевременно реагировать на изменения условий эксплуатации малодебитных скважин, исключать нежелательные режимы работы и предотвращать отказы оборудования, что позволит сформировать стабильную положительную динамику роста наработки оборудования, это указывает на эффективность проделанной докладчиками работы и перспективность тиражирования представленного анализа в будущем.

Авторы докладов, представленных на **7 секцию «Транспортировка и хранение нефти и газа»**, рассмотрели широкий спектр актуальных тем по специфике секции: от материалов, применяемых в отрасли, и подготовки продукта к транспортировке до мероприятий, направленных на повышение конструктивной эффективности оборудования, и определения оптимальных условий его эксплуатации.

Приведены исследования изменения прочностных характеристик неметаллических композиционных материалов, применяемых в трубопроводном транспорте углеводородов, была получена зависимость глубины полимеризации и процентного упрочнения от толщины образца и времени выдержки, а также разработанная методика упрочнения изделий из «слоистых» композиционных материалов путем выдержки в водном растворе; рассмотрены методики расчета некруглых зубчатых колёс планетарного механизма роторной гидромашины, возможности и реализация оптимизации корпуса трубопроводной задвижки.

Интересным является подход, связанный с возможностью создания подземных хранилищ природного газа в гидратном состоянии в зонах распространения многолетней мерзлоты; установлено, что наиболее целесообразным является сооружение хранилищ в пористых средах с пресной и слабоминерализованной пластовой водой.

Обоснована возможность внедрение инновационных продуктов в производственные процессы в нефтегазовой отрасли. В ходе анализа организационно-технических мероприятий по проведению диагностического обследования объектов трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов были предложены рекомендации, направленные на повышение энергоэффективности дополнительного дефектоскопического контроля с применением дополненной реальности.

Установлены закономерности влияния смолистых компонентов разного состава на степень ингибирования присадки в высокопарафинистой нефти. Рассмотрены ингибирующие композиции и установлен характер их влияния на температуру фазовых переходов, температуру застывания и количество асфальтосмолопарафиновых отложений в системе.

Приведены результаты натурных и вычислительных экспериментов по оценке влияния вынужденных колебаний на участках неметаллического трубопровода; эрозии с полидисперсным составом на преждевременное возникновение коррозии труб.

Интересной является разработка предложений по повышению эффективности эксплуатации магистрального газопровода с упруго-пластическим изгибом. Были определены степени опасности участков такого газопровода, что позволит обеспечить более высокий показатель надежности и снизить количество аварий на магистральных газопроводах, преимущественно за счет устранения ранней причины возникновения трещин, расслоения металла и коррозионного растрескивания.

Результаты значительного количества докладов основаны на вычислительном эксперименте, применении компьютерных технологий, которые позволяют оценить напряженно-деформированное состояние оборудования, выбрать его оптимальную конструкцию, оценить допустимость дефектов, прогнозировать отказы.

Доклады, представленные на **секции 8 «Химические технологии переработки минерального и углеводородного сырья»** традиционно касались совершенствования процессов подготовки и переработки нефти, газоконденсатов, природных и попутных газов и горючих сланцев, а также минерального сырья природного происхождения. В работах были представлены результаты экспериментальных исследований каталитического крекинга тяжелых нефтей в присутствии различных дисперсных катализаторов, продуктов раздельного крекинга полярных и неполярных компонентов окисленного высокосернистого вакуумного газойля, бензина каталитического крекинга с использованием различных хроматографических методов, продуктов гидрокрекинга смесового сырья методом двумерной газовой хроматографии.

Особое внимание было уделено вопросам моделирования углеводородного состава и процессов переработки нефтяных фракций. Доложены результаты исследований в области повышения энергоэффективности процесса сжижения природного газа в арктических условиях, моделирования процесса гидратообразования в процессах добычи и транспортировки природного газа, парового риформинга природного газа с использованием алгоритмов искусственного интеллекта, каталитического риформинга бензинов, замедленного коксования гудрона на основе формализованной схемы превращений веществ и сульфирования алкилбензолов с получением полуфабрикатов синтетических моющих средств.

Авторами продемонстрированы возможности синтеза искусственных газовых гидратов с добавлением специализированных ПАВ для использования в пожаротушащих технологиях, переработки зол ТЭС от сжигания мазута, утилизация угольной пыли методом брикетирования с использованием связующего реагента, синтеза плотнеспеченной анортитовой керамики на основе природного сырья с добавками оксидов магния и железа (III), применения наносекундных электромагнитных импульсов в процессе выщелачивания благородных и цветных металлов из руды.

В представленных результатах исследований использованы современные подходы и методы как экспериментального, так и численного характера: газовая, жидкостно-адсорбционная и двумерная хроматография, метод структурно-ориентированного объединения, математическое и нейросетевое моделирование, пинч-анализ.

На **секции 9 «Энергоснабжение и автоматизация объектов нефтегазовой промышленности»** тематика работ охватывает комплексную проблематику в области создания устойчивой и эффективной системы энергообеспечения предприятий нефтегазового сектора. Особое внимание уделяется изучению потенциала альтернативных источников энергии и технологий аккумулирования электроэнергии, функционирующих как в составе общей сети, так и в изолированном режиме. Рассматриваются методы повышения устойчивости энергосистем, оптимизации энергопотребления оборудования, определения неисправностей с дальнейшим их устранением. Также проводится оценка перспектив внедрения инновационных технических решений и современных технологических разработок в данной сфере.

Проанализированы ключевые направления в области исследования физико-химических процессов при переработке нефтяного газа, включая механизмы воспламенения и сгорания топливных материалов. Особое место занимает применение современных программных комплексов и технических средств моделирования для оценки эффективности генерации электроэнергии и оптимизации производства.

Отдельное внимание уделено задачам моделирования процессов в области энергоснабжения и автоматизации, в том числе для улучшения эффективности горения топлива, добычи нефти, применения систем накопления электрической энергии с обеспечением устойчивости энергоснабжения за счет современных технических решений.

На **секции 10 «Юные исследователи в Науках о Земле»** были представлены доклады самых молодых исследователей, которые отличаются высоким уровнем подготовки и соответствуют тематике симпозиума. В докладах рассмотрены темы, касающиеся исторической геологии, минеральных образований, влияния промышленных предприятий на состояние окружающей среды, моделирование природных процессов.

Редакционная коллегия, в целях поддержки научной молодежи, как правило, публикует материалы большинства представленных докладов. Критерием отбора служит содержание докладов, их научная новизна, практическая значимость и возраст авторов. Редакционная коллегия симпозиума надеется, что публикуемые материалы позволят заинтересованным читателям получить представление об уровне научных исследований в области геологии и освоения недр, выполняемых молодыми учеными, и использовать предложенные молодыми авторами идеи и разработки в своей научной и производственной деятельности. Редакционная коллегия считает, что опубликованные доклады ведущих ученых будут полезны и интересны студентам, магистрантам, аспирантам, молодым ученым и специалистам, проводящим исследования в данных научных направлениях.

Редакционная коллегия симпозиума выражает благодарность администрации Национального исследовательского Томского политехнического университета (исполняющему обязанности ректора ТПУ Леониду Григорьевичу Сухих, проректору по образовательной деятельности Михаилу Александровичу Соловьеву), руководству Инженерной школы природных ресурсов ТПУ, ПАО «Газпром», журналу «Недра и ТЭК Сибири» финансовая и информационная поддержка которых способствовала проведению симпозиума и изданию данного сборника.

Оргкомитет симпозиума

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГЕОКРИОЛОГИИ

Брушков А.В.¹, Дроздов Д.С.², Дубровин В.А.³, Ли О.В.¹, Остарков Н.А.¹, Сергеев Д.О.⁴

¹Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, г. Москва, Россия

²Институт криосферы Земли Тюменского научного центра Сибирского отделения РАН, г. Тюмень, Россия

³Центр государственного мониторинга состояния недр и региональных работ ФГБУ «Гидроспецгеология», г. Москва, Россия

⁴Институт геоэкологии имени Е. М. Сергеева РАН, г. Москва, Россия

Из 35 млн. кв. км территории вечной мерзлоты (криолитозоны) на Земле 11 млн. кв. км приходится на Российскую Федерацию, что составляет около 65 % площади страны. Вечная мерзлота состоит из горных пород различного состава и генезиса с отрицательной температурой, большая часть которых находится в многолетнемерзлом состоянии и содержит лёд-цемент, ледяные прослои – шлиры и залежи льда мощностью до десятков и протяженностью до сотен метров. Ее мощность изменяется от нескольких десятков метров до полутора километров. Температура вечной мерзлоты варьирует от отрицательных значений близких к 0 °С до минус 16 °С. Ледистость мерзлых толщ нередко превышает значения 40-50 % и более. Строительство в этих регионах возможно преимущественно по первому принципу т.е. с сохранением мерзлого основания.

Устойчивость вечной мерзлоты к колебаниям климата или влиянию деятельности человека в процессе освоения зависит от температуры горных пород, от содержания и распределения в них подземного льда. Изменения теплового состояния вечной мерзлоты определяют развитие криогенных геологических процессов и явлений. Современное состояние многолетнемерзлых пород (ММП) в значительной степени определяется глобальными климатическими изменениями и условиями теплообмена на поверхности. Техногенез дополняет воздействие фоновых климатических изменений. Поэтому представляется актуальным создание современной государственной системы мониторинга вечной мерзлоты Арктики, а впоследствии и мониторинга криолитозоны страны. Актуальность мониторинга определяется тем, что геоэкологическая, инженерно-геологическая и гидрогеологическая изученность криолитозоны, в том числе мониторинговыми наблюдениями, картированием осваиваемых регионов, полевыми и лабораторными исследованиями мерзлых грунтов не соответствует темпам освоения Арктики. Изменения теплового состояния вечной мерзлоты под влиянием климатических вариаций происходят на протяжении многих лет, но не достигли своего максимума. Это обстоятельство значительно повысило риски в строительстве и недропользовании, возросли эпидемиологические и экологические угрозы на осваиваемых территориях. Возросшие техногенные нагрузки и нарушения условий эксплуатации привели к значительному росту деформаций зданий и инженерных сооружений в Арктике, доля деформированных объектов достигает 40 % и более; отмечается потеря несущей способности оснований даже недавно построенных зданий и сооружений, деформации автомобильных и железных дорог. Средний расчетный срок службы многих городских, муниципальных зданий и промышленных сооружений в Арктике без реконструкции и капитального ремонта превышен. Отсутствуют координация и регулирование работ недропользователей, (градостроительных агломераций, промышленных предприятий и других собственников) по ведению геотехнического мониторинга (ГТМ), отсутствует межведомственный обмен информацией, массивы данных инженерных изысканий и ГТМ не доступны для экспертного и научного сообщества, прогнозы состояния вечной мерзлоты, как правило, не разрабатываются. Состав наблюдаемых параметров вечной мерзлоты недостаточен для разработки таких прогнозов.

Особенностью современных изменений глобального климата является потепление конца XX в. – начала XXI в., отмеченное со второй половины 1970-х годов. Согласно данным Всемирной Программы исследования климата (WCRP), средняя скорость потепления для земного шара составляет 0.166 °С/10 лет за 1976–2019 гг. Начало XXI века, в среднем по земному шару, остается самым теплым 20-летием за всю историю инструментальных наблюдений. В Российской Арктике в некоторых районах температура воздуха за последние 25 лет возросла на 1,5°С и более. Повышение температуры воздуха и увеличение количества летних осадков влечет за собой изменение условий теплообмена на поверхности за счет изменения видового состава напочвенных растительных покровов, кустарничков и появления в южных окраинах тундр древесной растительности. Напочвенные покровы играют важную роль в формировании температурного режима ММП, преимущественно охлаждая вечную мерзлоту, но иногда оказывающим и тепляющее влияние. Отмеченные тенденции климатических изменений, вероятно, будут сохраняться на протяжении большей части XXI века, что подтверждают модели глобального климата, согласно Шестому оценочному докладу МГЭИК (IPCC, 2021). Связь температуры воздуха и температуры горных пород не является прямой, но потепление климата ведет, как правило, к повышению температуры горных пород.

Основные параметры, характеризующие температурный режим пород – среднегодовая температура пород сезонно-талого слоя (СТС), среднегодовая температура ММП, амплитуда колебания температуры на различных глубинах в течение годового цикла, глубина проникновения этих колебаний вглубь массива (так называемая глубина нулевых годовых амплитуд). Результаты длительных наблюдений за температурами вечной мерзлоты в различных районах мира показывают, что наблюдается их постепенный рост. На Европейском Севере в южной тундре в большинстве криогенных систем в результате климатических изменений за период 1984-2019 гг. температура ММП на глубине 10 м во всех криогенных ландшафтах повысилась на 1,0–1,5 °С и составляет в настоящее время минус 0.5 ...-1 °С, при этом диапазон изменения среднегодовой температуры ММП в различных ландшафтах сократился почти в 3 раза. За 20 лет наблюдений здесь средняя глубина сезонного оттаивания пород возросла, примерно,

на 15–18 %. В этих регионах вслед за повышением среднегодовой температуры пород СТС до значений близких к 0 °С начинается активное оттаивание ММП сверху и формирование участков несквозных таликов и нессливающейся мерзлоты. За период 2015–2019 гг. темпы понижения кровли ММП оцениваются в среднем 0,3 м/год. Южная граница распространения островной мерзлоты за период потепления в Европейской части Арктики сместилась к северу на 30–40 км в Печорской низменности, и до 80 км – на равнинах Приуралья. В северной тайге Западной Сибири и лесотундре на широте 65°–66° – среднегодовые температуры пород повысились в среднем на 1–2 °С. В южной тундре также наблюдается значительное повышение среднегодовой температуры ММП, ее рост составил 2 градуса, с -6 °С до -4 °С, но мерзлые толщи остаются еще относительно устойчивыми. В зоне типичной тундры (68°–71° с.ш.), по данным более чем 40-летних наблюдений, повышение температуры многолетнемерзлых пород на глубине 10 м происходило в среднем со скоростью 0,05 °С/год. В последние 20 лет темпы повышения температуры ММП возросли и изменялись в различных природно-территориальных комплексах от 0,07 °С/год до 0,11 °С/год [8].

Во многих районах Средней и Восточной Сибири также наблюдается рост температур грунтов [6]. Тренд наибольшего повышения температуры мерзлых толщ за период наблюдений с 1985 г отмечен в западной части Восточной Сибири – 0,44 °С/10 лет. В центральном секторе этого региона он составил 0,31 °С/10 лет. В целом по РФ тренды изменения температуры вечной мерзлоты положительные, т. е. температура имеет тенденцию к постепенному повышению, хотя и несколько отстаёт от климатического потепления [2, 7]. При этом в криолитозоне широко развиты залежи подземных льдов, которые при повышении температур и оттаивании мерзлых толщ определяют значительные деформации поверхности Земли и разрушение наземной инфраструктуры.

Возникновение аварийных ситуаций, обусловленных потерей устойчивости ММП, связано со снижением несущей способности мерзлых оснований и развитием деформаций фундаментов сооружений и технологического оборудования. При этом, в отличие от затухающего характера деформаций на объектах, построенных на талых грунтах, деформации сооружений на мерзлых основаниях развиваются во времени, что обусловлено характером ответной реакции ММП на техногенные воздействия. Характерным типом деформаций является осадка сооружений при оттаивании грунтов оснований, а также деформации малонагруженных фундаментов трубопроводов под воздействием сил морозного пучения. Осадки грунтов оснований при их оттаивании изменяются от первых сантиметров до 1,5–2,0 м. Значительным деформациям подвержены магистральные трубопроводы с температурой продукта, отличной от температуры вмещающих пород.

При деградации мерзлоты возрастают риски развития неблагоприятных физико-геологических процессов, выхода в современную биосферу опасных вирусов и бактерий, сохраняющихся в вечной мерзлоте, нарушений лесной и напочвенной растительности. Возникают опасные явления типа взрывных газовых воронок [3].

При таких масштабах преобразования геокриологических условий и ответной реакции ММП на техногенные воздействия, усугубляемой климатическими изменениями, инструментом контроля состояния различных объектов и обеспечения их безаварийной эксплуатации является система геотехнического мониторинга (ГТМ). Однако, в системе ГТМ отсутствуют фоновые наблюдения за изменением теплового состояния мерзлых толщ под влияние климата. Это снижает эффективность геотехнического мониторинга. Целью системы государственного мониторинга вечной мерзлоты, создание которого представляется в настоящих условиях необходимой задачей, является осуществление надежного и безопасного природопользования в регионах ее развития, обеспечение научно-технической, методической и нормативной поддержки инвестиционных проектов и градостроительной деятельности, обеспечение механической безопасности зданий и сооружений. С учетом сказанного, обеспечение научно обоснованного подхода к решению проблем освоения Арктики требует также разработки федерального закона и соответствующих подзаконных актов. Государственный мониторинг вечной мерзлоты должен представлять собой межведомственную систему регулярных наблюдений, сбора, накопления, обработки и анализа информации, оценки состояния вечной мерзлоты Арктики в естественных условиях (фоновый мониторинг, или ФМ) и на освоенной территории (геотехнический мониторинг, или ГТМ), составления прогнозов ее изменений под влиянием естественных природных факторов, недропользования, промышленного, гражданского строительства и жилищно-коммунального хозяйства и разработки методов регулирования состояния вечной мерзлоты для охраны и рационального использования криогенных ресурсов и устойчивого развития области криолитозоны [5]. Мониторинг криолитозоны является составной частью (подсистемой) комплексной системы мониторинга окружающей природной среды. В системе государственного мониторинга криолитозоны геокриологические стационары должны занимать особое место, поскольку здесь работы и исследования могут осуществляться как в круглогодичном режиме, так в режиме экспедиционных посещений.

Система фоновых геокриологических наблюдений представлена в различных министерствах и ведомствах, причастных к изучению Арктики, ограниченным числом геокриологических стационаров и многочисленными площадками периодического посещения. Так в системе Минприроды РФ, функционирует всего два объекта мониторинговых наблюдений в Арктике. В системе Российской Академии наук на Европейском Севере, в Западной и Восточной Сибири и на Чукотке насчитывается около 20 специализированных площадок, периодического посещения, преимущественно со скважинами недостаточной глубины, оборудованных измерительной аппаратурой, не отвечающей современным требованиям. Неудовлетворительное финансирование мониторинговых работ в Арктике, как и во всей криолитозоне России, отсутствие единых требований к методике работ (включая глубинность наблюдений), технологиям, техническим средствам, а также ведомственный подход к решению научных и хозяйственных задач значительно ослабляет эффективность фоновых мониторинговых исследований. Мониторинговая информация от всех источников должна концентрироваться в региональных аналитических центрах, а после ее обработки передаваться в федеральный центр, где должен формироваться федеральный банк геокриологической информации. Система государственного мониторинга вечной мерзлоты сможет существенно снизить, а в ряде случаев исключить риски освоения криолитозоны Арктики в границах средне- и долгосрочной перспективы.

Литература

1. Masson-Delmotte V. et al. Climate change 2021: the physical science basis //Contribution of working group I to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. – 2021. – Т. 2. – № 1. – С. 2391.
2. Бердников Н.М., Малкова Г.В., Дроздов Д.С., Коростелев Ю.В., Гравис А.Г., Пономарева О.Е. Прогнозная карта температуры многолетнемерзлых пород в криолитозоне России. // Материалы докладов всероссийской конференции с международным участием «Устойчивость природных и технических систем в криолитозоне». 28-30 сентября 2020. – Якутск, 2020. – с. 63-65.
3. Богоявленский В.И. Газогидродинамика в кратерах выброса газа в Арктике // Арктика: экология и экономика. 2018. – №1(29). – С. 48-55. DOI: 10.25283/2223-4594-2018-1-48-55.
4. Васильев А. А. и др. Деградация мерзлоты: результаты многолетнего геокриологического мониторинга в западном секторе российской Арктики // Криосфера земли. – 2020. – Т. 24. – № 2. – С. 15-30.
5. Гарагуля Л.С., Брушков А.В., Кудрявцев В.А., Кондратьева К.А. Основы мерзлотного прогноза при инженерно-геологических исследованиях. – М.: Изд-во Моск-го ун-та. – 1974.
6. Железняк М.Н. Геокриологическая база данных Сибирской платформы // Материалы всероссийской конференции «Рельеф и экзогенные процессы гор». – Иркутск: Изд-во ИГ СО РАН, 2011. – С. 100-103.
7. Малкова Г.В., Павлов А.В. Геоинформационное картографирование современных изменений климата и криолитозоны на севере России // Труды Десятой Международной конференции по мерзлотоведению TISOP. – 2012. – С. 313-318.
8. Осокин А.Б. Многолетние изменения среднегодовой температуры ММП на севере Западной Сибири под воздействием потепления климата // Материалы четвертой конференции геокриологов России. – М.: Университетская книга. – 2011. – С. 69-77.

**НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ПОИСКА И ДОБЫЧИ УГЛЕВОДОРОДОВ
В КОНТЕКСТЕ МИРОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ВЫЗОВОВ**

Коношонкин Д.В.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Современная нефтяная промышленность продолжает сталкиваться с несколькими значительными вызовами. Несмотря на развитие «зелёной» повестки, углеводороды остаются основными источниками энергии и сырья для химической промышленности. Прогнозы, сделанные Международным энергетическим агентством (МЭА), указывают на увеличение мирового спроса на нефть, которое в 2025 году составит 1,05 млн баррелей в сутки, что доведёт общий спрос до 103,9 млн баррелей в сутки. Увеличение потребности в нефти обусловлено, в первую очередь, ростом промышленного потребления в странах Азии, особенно в Китае [1].

Однако этот рост спроса сталкивается с проблемой истощения доступных запасов. Многие месторождения, которые ранее были относительно легко доступными для разработки, уже частично отработаны. Таким образом, необходимо искать новые методы разведки и разработки сложных и труднодоступных месторождений. Прогнозируемое увеличение мирового предложения нефти на 1,8 млн баррелей в сутки в 2025 году может привести к избытку нефти на рынке, создавая угрозу его перенасыщения и возможного снижения цен на углеводороды [2].

Роль Центра Хериот-Ватт в решении современных задач нефтяной отрасли

Центр Хериот-Ватт, расположенный в Томске, является ведущим образовательным и исследовательским центром, который активно работает над решением задач, стоящих перед нефтяной отраслью. В нашей магистратуре представлены три программы, а также более 40 курсов повышения квалификации. Программы направлены на подготовку высококвалифицированных специалистов, способных решать проблемы в области нефтяной разведки и разработки месторождений с использованием новейших технологий.

Кроме того, Центр активно участвует в научных проектах, направленных на улучшение методов и технологий поиска нефтяных залежей. В рамках этих проектов разрабатываются новые подходы, которые могут существенно повысить эффективность добычи углеводородов и снизить издержки, связанные с разведкой и добычей.

Проект «Палеозой»: Разработка инновационных методов поиска нефтяных залежей

Проект «Палеозой» представляет собой комплексную научно-исследовательскую работу, целью которой является разработка технологий поиска нефтяных залежей в палеозойских отложениях Томской области. Ожидаемые запасы углеводородов в этих отложениях могут составлять порядка 1 млрд тонн нефти, однако точное расположение этих запасов остаётся неизвестным.

Проблема заключается в том, что традиционные методы разведки, такие как сейсмические исследования, не дают достаточной информации на таких глубинах, где расположены палеозойские отложения. В связи с этим необходимо использовать более сложные методы, такие как цифровое моделирование и новые подходы обработки сейсмических данных. В рамках проекта была проведена серия экспериментов, включая физико-цифровое моделирование тектонических процессов с целью выявления закономерностей формирования складок и разломов в палеозойских пластах.

Использование данных сейсмических исследований в сочетании с результатами цифрового моделирования позволило уточнить строение палеозойских отложений и предложить новые методы для эффективного поиска нефтяных залежей.

Междисциплинарность в обучении и исследованиях нефтяной отрасли

Нефтяная отрасль давно вышла за рамки исключительно геологических исследований и требует широкого применения знаний из различных областей, таких как математика, статистика, автоматизация, машинное обучение

и информационные технологии. Пример из личного опыта автора подтверждает, что для успешного решения задач нефтяной геологии необходимо применять междисциплинарный подход.

В частности, при работе с программным обеспечением Petrel для геологического моделирования, автор использовал методы геостатистики для восстановления детальной картины параметров в межскважинном пространстве. Также была проведена работа по применению статистических методов прогнозирования для оценки будущих рыночных трендов, что наглядно демонстрирует схожесть задач геологов и специалистов в области финансовых прогнозов.

Таким образом, нефтяная геология и разработка месторождений углеводородов тесно переплетаются с другими научными дисциплинами, что требует от специалистов разнообразных знаний и навыков.

Заключение

Нефтяная отрасль сталкивается с рядом серьезных вызовов, связанных с истощением запасов углеводородов, растущими затратами на разведку и добычу, а также необходимостью внедрения новых технологий. Для успешного решения этих задач необходимо развивать междисциплинарные подходы и активно применять новые методы, включая цифровое моделирование, геостатистику и машинное обучение.

Обучение по специальности «нефтяное дело» предоставляет студентам возможность овладеть широким спектром знаний, которые применимы в различных областях, от геологии и геофизики до информационных технологий и статистики. Это позволяет им эффективно решать сложные задачи в нефтяной отрасли и быть конкурентоспособными на рынке труда.

Литература

1. Международное энергетическое агентство (МЭА). Прогнозы мирового спроса на нефть [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2021>, свободный – (01.03.2023).
2. Международный форум энергетики (IEF). Капитальные затраты на разведку и добычу углеводородов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ief.org/reports>, свободный – (15.04.2024).

ПРОМЫШЛЕННЫЕ РАССОЛЫ НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СИБИРИ, ВОПРОСЫ ГЕНЕЗИСА РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ В ГИДРОМИНЕРАЛЬНОМ СЫРЬЕ

**Данилова М.А.^{1,2}, Вахромеев А.Г.^{1,3}, Горохов А.П.¹, Левин А.В.¹, Зарубов М.С.¹,
Ишков А.А.^{1,4} Лыков Р.С.¹**

¹ООО «РН-КрасноярскНИПИнефть» г. Красноярск, Россия

²Школа геонаук ИрНТУ, г. Иркутск, Россия

³Институт земной коры СО РАН г. Иркутск, Россия

⁴Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, Россия

В недрах углеводородно-гидроминеральной провинции Сибирской платформы глубоким бурением подтверждены гигантские ресурсы промышленных поликомпонентных рассолов, имеющих высокие и нередко ураганные концентрации таких ценных микроэлементов как литий (Li), стронций (Sr), рубидий (Rb), бром (Br), бор (B), цезий (Cs) и др. редких, рассеянных элементов и минеральных солей. Установлено, что территория платформы и отдельные «вложенные» осадочно-породные артезианские бассейны – Тунгусский, Якутский, Оленекский и Ангара-Ленский обладают громадными прогнозными гидроминеральными ресурсами. Сибирская платформа (СП) является крупнейшей литиеносной металлогенической провинцией мира, ресурсы лития оцениваются на уровне десятков млн. т. Запасы поликомпонентных редкометалльных рассолов по промышленным категориям пока не поставлены на государственный баланс. Сегодня это одна из важнейших задач геологов и гидрогеологов на пути создания отечественной сырьевой базы литиевой промышленности.

Помимо широко известных пресных питьевых и технических, термальных и минеральных подземных вод выделяется особый класс – промышленные воды. Это воды, из которых экономически целесообразно извлекать полезные компоненты, ценные и необходимые для промышленности, такие как йод, бор, бром, редкие металлы (литий, рубидий, цезий, калий), щелочноземельный стронций, и многие другие элементы, и соединения. Принято выделять самостоятельные месторождения промышленных подземных вод, они известны в Южной и Северной Америках, в Китае и в России, и попутно добываемые промышленные воды, которые извлекают на поверхность совместно с нефтью или при осушении алмазных или железорудных карьеров. Геолого-экономические показатели освоения попутно добываемых промышленных вод гораздо выше, поскольку из затрат на организацию предприятия уходят затраты на капитальные вложения по созданию рассолопромысла, то есть бурение скважин, внешняя обязанка трубопроводных систем и насосных станций.

Сегодня в России такими крупными компаниями, как ПАО «Роснефть», Иркутская нефтяная компания, Татнефть, ПАО «ГАЗПРОМ» и др. активно вовлекаются в цикл ГРП, в оценку запасов по промышленным категориям и геолого-экономическую оценку целый ряд месторождений попутных вод. Целенаправленные геологоразведочные работы на гидроминеральное сырье на Сибирской платформе, безусловно, должны базироваться на понимании генетической, металлогенической модели промышленных рассолов, модели формирования такого уникального химического состава.

Важно отметить, что изучение рассолов Сибирской платформы происходит уже около века, и на сегодня гидрогеологами собран значительный массив гидрохимических данных, из которого следует несколько крайне интересных выводов. В геологическом разрезе осадочного чехла наблюдается явление гидрохимической инверсии, то есть самые концентрированные по общему солевому составу и содержанию полезных компонентов рассолы

локализованы в средней, галогенно-карбонатной части осадочного чехла. При этом максимума концентрирования рассолы достигают в области влияния активного траппового магматизма в непосредственной близости над магматическими телами, силлами или на некотором удалении от них. Так, самые богатые редкими металлами, в первую очередь литием, рассолы вскрываются в коллекторах над регионально распространенными трапповыми телами. Например, в районе распространения Усольского силла на Ангаро-Ленской ступени такие рассолы приурочены к осинскому горизонту, на Непско-Ботуобинской антеклизе и Камовском своде, где этот силл «перескакивает» в вышележащие уровни, – в белской свите.

Выделим этапы магматического – траппового и посттраппового влияния на состав и свойства вмещающих пород и содержащихся в них рассолах:

1. Каждая стадия базитового магматизма и синхронизированного с ним магматического и гидротермального оруденения, проявившегося на Сибирской платформе, обладала своим рудогенетирующим потенциалом, что определяло различные пути обогащения контактирующих рассолов и вмещающих пород в последующие стадии гидротермальной проработки и формированию различных рудных месторождений на территории Сибирской платформы. Так, ранний этап развития магматизма является слабопродуктивным в отношении оруденения. Второму этапу отвечает масштабное развитие траппов и формирование в центральных зонах крупных медно-никелево-платиноносных интрузий (Норильский район) и крупных железорудных месторождений на ее периферии (Ангаро-Илимский и другие районы). С этим же этапом связано широкое развитие щелочно-базитового и щелочно-ультрабазитового (с карбонатитами) магматизма в центральной части ареала Сибирской платформы, а в ее внешних зонах – дайковых комплексов щелочных базитов (лампрофиров), сопровождавшихся гидротермальным оруденением. Заключительный этап характеризуется развитием магматизма пестрого состава и редкометалльных гранитов, и связанные с ними соответствующие типы гидротермального оруденения [11].

2. Трапповый магматизм кардинально изменил температурный режим в пермо-триасе, регионально прогревая природные резервуары рифея и кембрия, вмещавшие рассолы, выше 100 °С, приводя к нарушению физико-химического равновесия, формируя вектор новых реакций в системе «рассол-порода-газ-органическое вещество». В зоне влияния сформировались пародоминирующие резервуары – сверхкритические, с температурой выше 375 °С и сверхгорячие геотермальные резервуары в межсолевых карбонатных пластах (по А.В. Кирюхину, 2022). При вскипании природных рассолов в межсолевых рассолоносных горизонтах происходил рост пластового давления сверхкритической жидкости и пара, приводя к явлениям гидровулканизма и резкой активизации глубинного карста по зонам авто-ГРП и зонам разуплотнений в чехле солеродного бассейна;

3. Базальтовая магма изливалась по трещинным системам в осадочном чехле, замещая рассолы в сформированной ранее фильтрационной системе природных трещинных карбонатных резервуаров осадочного чехла, формируя впереди парогазовый фронт вскипающих рассолов и повышая давление в закрытой системе [6]. Аналогом данного процесса можно принять существующие на Камчатке современные парогидротермы. Важно, что парогидротермы активных магматогенно-гидротермальных систем Камчатки, Курильской дуги [8, 12, 13, 24, 26] имеют возможность разгрузки на поверхность, в отличие от палео-аналогов Сибирской платформы (рис. 1). Результатом данного процесса является начало формирования вторичной наложенной системы трещиноватости при гидроразрывах пласта, усиление и ускорение химических реакций, меняющих облик рассолов вследствие процесса кипения и удаления воды в виде пара, концентрирования остаточного раствора/расплава;



Рис. 1. Камчатка: современные гигантские гидротермальные системы как аналоги палео-гидротермальных систем Сибирской платформы. Над магматическими очагами в чехле формируются пародоминирующие резервуары, резко активизируется водообмен в сопряженных гидрогеологических структурах и геохимическая активность флюидных водонапорных систем. Фото Вахромеева А.Г., 2023 г.

4. Остывание магматического расплава, застывание – консолидация силлов сформировало новую систему флюидоупоров, что стало одной из причин резкого повышения пластового давления флюидов под силлами, и под первыми солевыми флюидоупорами над силлами. При достижении пластовым давлением критического значения начинался процесс природного гидроразрыва пласта, сформировавший новые, вторичные каналы перетока и циркуляции рассолов и гидротерм. При остывании и снижении температуры на удалении от термального источника начинался процесс выпадения солей из рассолов, приводящий к процессам вторичного засоления и формирования

кепроков [13], значимому снижению фильтрационных характеристик коллектора в этих зонах, к ихолации залежей промышленных рассолов.

5. После завершения «мгновенного» в рамках геологической истории этапа внедрения траппов начался длительный посттрапповый этап гидротермальной проработки, который включает в себя несколько основных процессов влияния как на ранее сформированные рассолы, так и на вмещающие породы, и рассматривается как главный источник формирования рудных залежей. В зависимости от стадии магматизма и состава интрузий сформированы медно-никелевые месторождения (Норильский тип), железорудные месторождения (Ангаро-Илимский тип), месторождения редкометалльных гранитов, а также месторождения литиеносных рассолов, которые являются результатом смешения реликтовых рассолов концентрирования и рудоносных гидротерм.

Таким образом, современный облик промышленных рассолов и вмещающих их пород отличаются изменчивостью не только в разрезе, но и по площади, и является отражением перестройки резервуарной системы Сибирской платформы вследствие активного этапа траппового магматизма с дифференциацией очагов оруденения и длительных гидротермальных процессов, протекавших локально по зонам магматической и гидротермальной разгрузки (рис. 2). Эти процессы значительно изменили химизм промышленных рассолов.

Переходя к практическому аспекту необходимости изучения условия формирования рассолов, важно подчеркнуть, что при разработке месторождений УВС на Сибирской платформе на сегодняшний день попутно добываются огромные объемы промышленных рассолов с концентрациями лития, в несколько раз превышающими минимальные промышленные значения [17, 18, 27]. ПАО «НК «Роснефть» заинтересована в рациональном использовании этого типа сырья с целью извлечения лития. Для постановки запасов на гос. баланс и оценки рентабельности проекта особенно важным вопросом является прогноз стабильности состава и концентрации ценных элементов во времени при эксплуатации, ответить на который невозможно без понимания условий формирования рассолов, постоянства их состава при добыче УВС.

В рамках работы, выполняемой ООО «РН-КрасноярскНИПИнефть», получены новые данные по геохимии попутно добываемых рассолов на месторождениях Камовского свода и в пределах Непско-Ботуобинской антеклизы, выявлена дифференциация состава рассолов и концентраций лития в пределах различных тектонических блоков верхнего протерозоя-риффея [4], изучается связь состава рассолов с палеогидротермальными и другими процессами, в разной степени затронувших массивные трещинные резервуары [30] данных блоков (Камовский свод). По результатам ретроспективного анализа состава добываемых рассолов за период разработки месторождений выявлены тренды изменения состава, особенно значимые при разработке месторождений с ППД. При заводнении достаточно быстро происходит разубоживание концентраций ценных элементов, а сложный характер смешения вод не позволяет выполнять прогноз изменения состава рассолов (по данным месторождений Непско-Ботуобинской антеклизы). При разработке месторождений без системы ППД рассолы отличаются достаточной стабильностью состава во времени, но отсутствие длительных рядов наблюдений за литием и другими ценными элементами требует привлечения новых инструментов, в том числе, – возможностей нейронных сетей и машинного обучения. На данном этапе специалистами ООО «РН-КрасноярскНИПИнефть» выполняется работа по установлению связей лития с макрокомпонентами состава рассолов для «восстановления» информации о его концентрациях в прошлые периоды и выявления тренда, что позволит осуществлять прогноз изменения его содержания в условиях ограниченных данных. Калибровка модели осуществляется на фактические данные мониторинга.



Рис. 2. Основные этапы формирования промышленных рассолов как результат активного влияния траппового магматизма и посттрапповых процессов

Более сложным и менее изученным типом месторождений промышленных рассолов являются самостоятельные объекты, но именно они являются наиболее интересными в качестве источника ценных элементов. Такие объекты приурочены к соленосной формации раннего кембрия. По результатам изучения в разрезе выделяется

до 7 водоносных горизонта, с большой вероятностью изолированных друг от друга и имеющих различный микрокомпонентный состав. Они отличаются аномально высокими концентрациями лития, рубидия, цезия и др., в том числе, редкоземельных элементов, характеризуются сложностью фильтрационных характеристик. Пока отсутствуют четкие представления о стабильности состава во времени, поскольку нет опыта длительных откачек и эксплуатации. Изучение таких объектов и вовлечение их в разработку наиболее рентабельно в пределах нефтяных месторождений в связи с возможностью совместного использования инфраструктуры. Сбор гидрогеологической информации следует выполнять при бурении скважин на УВС.

Анализ конъюнктурной ситуации на элементы и соединения, оцененные в рассолах либо обнаруженные в устойчивых концентрациях Вахромеев, 2015 [5] и подлежащих оценке (иттрий, ниобий, цирконий и др.), показал, что они пользуются повышенным спросом на мировом рынке с тенденцией к возрастанию, обеспечивая развитие передовых промышленных технологий. Отмечен факт высокой степени корреляционной взаимосвязи рассматриваемой системы, т.е. большого количества коррелируемых между собой компонентов. Установлено, что концентрации обнаруженных элементов в рассолах в 10^4 – 10^5 раз выше кларка гидросферы, что указывает на явление их направленного концентрирования в рассолах.

С геолого-экономической точки зрения целесообразно начать освоение этого типа литиевого сырья с вовлечения в переработку попутных вод углеводородных месторождений. Одним из таких объектов ПАО «НК «РОСНЕФТЬ» являются нефтегазоконденсатные месторождения массивных трещинных природных резервуаров карбонатного рифея Камовского свода, такие как Куломбинское и Юрубчено-Тохомское. Технологические решения по переработке гидроминерального сырья Восточной Сибири внедрены в производство [1, 10, 9, 15, 16, 17, 18, 19, 21, 27, 28, 29, 30].

Литература

1. Alexeev S.V., Alexeeva L.P., Vakhromeev A.G. Brines of the Siberian platform (Russia): Geochemistry and processing prospects // *Applied Geochemistry*. – 2020. – Т. 117. – С. 104588.
2. Алексеев В. А. и др. Геологическая эволюция и самоорганизация системы вода-порода. // отв. ред. С. Л. Шварцев – 2005.
3. Алексеев С.В. Промышленные рассолы Сибирской платформы: гидрогеология, бурение и добыча, переработка, утилизация // С.В. Алексеев, А.Г. Вахромеев, Н.П. Коцупало, А.Д. Рябцев. – Иркутск: Изд-во ООО «Географ», 2014. – 162 с.
4. Афанасенков А.П. Новые данные о геологическом строении Юрубчено-Тохомской зоны нефтегазоаккумуляции и пути дальнейшего освоения ее нефтегазового потенциала / А.П. Афанасенков [и др.] // *Минеральные ресурсы России. Экономика и управление*. – 2004. – № 1 – С. 34-45.
5. Вахромеев А.Г. Закономерности формирования и локализации месторождений промышленных рассолов в карбонатных каверново-трещинных резервуарах кембрия юга Сибирской платформы (по данным глубокого бурения, испытания скважин и полевой геофизики) // А.Г. Вахромеев. – Иркутск: Изд-во ИрНТУ, 2015. – 248 с.
6. Вахромеев А.Г. и др. Вулканогенно-тектоническая модель формирования флюидодинамических структур в осадочном чехле Ангаро-Ленского артезианского бассейна Сибирской платформы // *Интерэкспо Гео-Сибирь*. – 2024. – Т. 2. – № 1 – С. 21-25.
7. Вожов В. И. Подземные воды и гидроминеральное сырье Лено-Тунгусской нефтегазоносной провинции // В.И. Вожов. – 2006.
8. Голева Г.А. Гейзеры и горячие озера Кроноцкого заповедника (Камчатка). – Путеводитель. – М: Прогресс-Академия. – 1993.
9. Горохов А.П. Способ разделения многокомпонентной смеси / Патент на изобретение RU 2812652 C1, 31.01.2024. Заявка № 2022135399 от 30.12.2022.
10. Горохов А.П. и др. Применение методов численного моделирования в интенсификации процессов подготовки природного газа // *Современные методы комплексного моделирования разработки газовых и нефтегазоконденсатных месторождений. Тезисы докладов III Научно-технической конференции*. – Санкт-Петербург, 2024. – С. 39.
11. Добрецов Н.Л. и др. Термохимическая модель пермотриасовых мантийных плюмов Евразии как основа для выявления признаков формирования и прогноз медно-никелевых, благородно- и редкометаллических месторождений // *Геология и геофизика*. – 2010. – Т. 51. – № 9. – С. 1159-1187.
12. Кирюхин А.В. Геомеханические условия формирования вулканических и гидротермальных систем // *Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием «Геотермальная вулканология, гидрогеология, геология нефти и газа» (Geothermal Volcanology Workshop 2022)*, 29 августа–3 сентября 2022 г. – Петропавловск-Камчатский, 2022. – С. 9.
13. Кирюхин А.В., Манухин Н.И. Гидрогеология вулканогенов. – СПб: Наука, 2010. – 396 с.
14. Кирюхин А.В. Магматический фреатизм и гидротермальные системы под активными вулканами // *Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием «Геотермальная вулканология, гидрогеология, геология нефти и газа» (Geothermal Volcanology Workshop 2020)*. – 2020. – С. 27-31.
15. Контарович А.А., Контарович А.Э., Кригин В.А. и др. Юрубчено-Тохомская зона газонефтеаккумуляции - важный объект концентрации региональных и поисково-разведочных работ в верхнем протерозое Лено-Тунгусской нефтегазоносной провинции // *Геология и геофизика*. – 1988. – № 11. – С. 45-55.
16. Коцупало Н.П., Менжерес Л.Т., Рябцев А.Д. Выбор комплексной технологии для переработки рассолов хлоридного кальциевого типа // *Химия в интересах устойчивого развития*. – 1999. – № 7. – С. 157–167.
17. Коцупало Н.П., Рябцев А.Д. Химия и технология получения соединений лития из литиеносного гидроминерального сырья. монография // ЗАО «Эко-стар-Наутех». – Новосибирск: изд-во «ГЕО», 2008. – 291 с.
18. Коцупало Н.П., Рябцев А.Д., Вахромеев А.Г. и др. Поликомпонентные рассолы Сибирской платформы – сырье многоцелевого назначения (обзорная) // *Современные технологии освоения минеральных ресурсов: Сб. науч. тр. / под ред. д-ра техн. наук В.Е. Кислякова*. – 2013. – Вып. 11. – С. 241–261.

19. Литвинова И.В. Гидрогеологические критерии нефтегазоносности Курейской синеклизы: дис. ... канд. геол. мин. наук: 25.00.07. – Тюмень: ТИУ, 2020.
20. Пиннекер Е.В. Рассолы Ангаро-Ленского артезианского бассейна / Е.В. Пиннекер. – М: Наука, 1966. – 322 с.
21. Постникова И.Е., Постникова О.В., Тихомирова Г.И., Фомичева Л.Н. Карстовая модель рифейского природного резервуара Юрубчено-Тохомского месторождения. / Геология нефти и газа, 3, 2001.
22. Рычагов С.Н. Гигантские газо-гидротермальные системы и их роль в формировании пародоминирующих геотермальных месторождений и рудной минерализации // Вулканология и сейсмология. – 2014. – № 2. – С. 3-28.
23. Рычагов С.Н. Эволюция гидротермально-магматических систем островных дуг: Автореф. Дисс. на соиск. уч. степени доктора геол.-мин. наук. – Москва, 2003. – 50 с.
24. Рябцев А.Д. Переработка литиеносного поликомпонентного гидроминерального сырья на основе его обогащения по литию: автореф. дис. д-ра техн. наук. – Томск, 2012. – 39 с.
25. Рябцев А.Д. Перспектива получения брома из высокоминерализованных рассолов Восточной Сибири // Химическая технология. – 2004. – № 5. – С. 2-8.
26. Рябцев А.Д., Коцупало Н.П., Вахромеев А.Г. Высокоминерализованные рассолы – перспективное сырье для получения брома и бромпродуктов. Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых // Journal of Mining Science, USA. – 2003. – № 5 – С. 105-113.
27. Рябцев А.Д., Коцупало Н.П., Вахромеев А.Г. Стратегия организации промышленного комплекса по добыче нефти и переработке попутных поликомпонентных рассолов // Материалы Всеросс. конф. – Новосибирск, 2013. – С. 39–44.
28. Сурнин А.И. Гидротермальный этап в формировании гидродинамической системы осадочного чехла Сибирской платформы / А.И. Сурнин, И.В. Литвинова, Н.А. Иванова // Материалы Всерос. Науч. Конф. с межд. Уч. «Геотермальная вулканология, гидрогеология, геология нефти и газа» (Geothermal Volcanology Workshop 2020). Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, – 2020. – С. 151–154.
29. Трофимук А.А. Куюмбино-Юрубчено-Тайгинское газонефтяное месторождение- супергигант Красноярского края. – Новосибирск: ОИГГМ СО РАН. – 1992.
30. Харахинов В.В., Шленкин С.И. Нефтегазоносность докембрийских толщ Восточной Сибири на примере Куюмбинско-Юрубчено-Тохомского ареала нефтегазонакопления. – М.: Научный мир, 2011. – 420 с.

С Е К Ц И Я 1

ПАЛЕОНТОЛОГИЯ, СТРАТИГРАФИЯ И РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ. ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В НАУКАХ О ЗЕМЛЕ

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОИСКОВ НЕФТИ И ГАЗА В ЗАПАДНО-КУБАНСКОМ ПРОГИБЕ (ПО ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИМ ДАННЫМ)

Акулич И.В.

Научный руководитель профессор Н.А. Бондаренко
Кубанский государственный университет, г. Краснодар, Россия

При рассмотрении территории Западного Предкавказья, наряду с поисками углеводородов (УВ) в меловых отложениях Скифской плиты, наибольший интерес представляют перспективные направления и для Западно-Кубанского прогиба (ЗКП), в пределах которого выявлен ряд объектов антиклинального и других типов в интервале отложений от неогена до юры. Основная масса перспективных объектов здесь охарактеризована единичными сейсморазведочными профилями и не представляет поискового интереса по причине их малоразмерности, отсутствия признаков наличия УВ и обоснованности выделения (кондиционности). Сформировалось представление, что вероятность открытия на этих территориях новых перспективных направлений поиска углеводородов, подобных наиболее крупным из выявленных здесь ранее, невелика. Несмотря на достаточно высокую геолого-геофизическую изученность основных продуктивных комплексов, нет чётких перспектив на УВ для глубоко залегающих отложений. Геологическое строение и перспективы нефтегазоносности комплексов от неогена до юрско-триасового в пределах описываемой территории до конца не изучены.

За последние десятилетия региональными и тематическими исследованиями были выявлены, а также подтверждены сейсморазведочными работами МОГТ 2D [3, 4] новые нефтегазовые объекты в мезозой-кайнозойских отложениях. Они представляют поисковый интерес, обуславливающий продолжение на данной территории геологоразведочных работ (ГРП). В качестве вышеупомянутых объектов в пределах ЗКП могут выступать тектонические аналоги продолжения поднятий Анастасиевско-Троицкой зоны на восток, такие как Восточно-Троицкая и Федоровская структуры, аналоги объектов плавневой зоны в чокраке и аналоги верхнеюрских объектов Крупской площади. Обращают на себя внимание объекты в майкопских отложениях и связанные с ними нефтепроявления в Краснодарской скважине №1 [4].

Новые направления поисков УВ в ЗКП сформированы в результате анализа выполненных за последние десятилетия сводных структурных построений, а также сделанных на их основе палеотектонических, палеогеоморфологических и палеогеографических реконструкций. Уточнены данные о характере площадного распространения и структуре верхнеюрских, меловых, палеогеновых и неогеновых отложений, а также представления об истории формирования и тектоническом строении ЗКП и сопредельных территорий, радикально меняющие перспективы нефтегазоносности этого региона [1].

Автором обоснована модель формирования ЗКП, в которой наряду с процессами общего прогиба существенную роль играли палеогеоморфологические факторы регионального и локального уровней. В частности, в рамках прогиба выделены такие палеогеоморфологические элементы, как Славянская, Ольгинская, Адагумо-Афипская глубоководные котловины мел-палеогенового времени, Полтавский и Краснодарский выступы шельфа, Ачуево-Тверской континентальный уступ, серия палеоврезов, Собербац-Гунайская котловина позднеюрско-раннемелового времени [1].

Для верхнеюрско-нижнемелового комплекса одним из основных направлений поиска УВ в пределах северного борта ЗКП и смежных участков Тимашевской ступени в настоящее время считается зона развития погребенных рифовых массивов оксфорда [2], интерес к которой значительно повысился после проведения поискового бурения на Крупской площади. Изучение мезозойских отложений северного борта ЗКП в основном было проведено в 1970–1980-х гг. Сейсморазведкой МОГТ выявлены и подготовлены к бурению Чебургольское, Мышастовское, Медведовское, Западно-Медведовское и другие структуры в меловых отложениях. Однако глубокое бурение на выявленных объектах положительных результатов не дало, и разведка мезозойских отложений была приостановлена.

В дальнейшем основным направлением ГРП в пределах северного борта ЗКП стали поиски УВ в отложениях понта, мзотиса и чокрака, в которых установлено большое число газовых, газоконденсатных и нефтегазоконденсатных залежей в основном в чокраке. Одновременно с изучением миоценовых отложений сейсморазведочными работами получены новые данные о строении мезозойского комплекса пород. Одними из основных отрицательных факторов дальнейшего развития этого направления работ выступают высокая стоимость и сложные промысловые условия на предельных для бурения глубинах.

Одно из наиболее перспективных направлений поиска УВ – зона подмайкопских выступов в южной части ЗКП и связанных с ними месторождений – аналогов Северско-Западно-Афипского месторождения. Последнее – один из наиболее крупных объектов Западного Предкавказья, связанных с подмайкопскими комплексами, перекрытых глинистыми отложениями майкопа на юге ЗКП. В эту зону входят Мелеховский, Восточно-Афипский, Федоровский

выступы и связанные с ними локальные объекты, которые выражены в отложениях до среднемайкопских включительно. Комплекс майкопских отложений ЗКП, как основное направление поисков нефти и газа до настоящего времени связан с ловушками литологического типа Нефтегорской зоны. При этом продуктивность майкопских разрезов на южном борту ЗКП связана с песчаными горизонтами нижнего-среднего майкопа. Полоса майкопских «заливов» прослеживается вдоль южного борта ЗКП почти на 150 км. Аналоги подобного рода ловушек – наиболее крупные недоизученные литологические объекты в майкопских отложениях, уверенно прогнозируемые по сейсмическим данным вдоль южного борта ЗКП – это Адагумская, Мелеховская и Восточно-Ильская ловушки, выявленные на западном продолжении месторождений Нефтегорской зоны [1].

В пределах северного борта ЗКП залежей заливообразного строения в майкопе не выявлено, но предпосылки наличия подобного рода объектов здесь имеются. Пример – Черниковская литологическая ловушка в толще среднего майкопа размерами до 25×4 км, прогнозируемая по сейсмическим данным северо-восточнее Южно-Андреевской площади, а также в зоне сочленения ЗКП и Тимашевской ступени.

В миоценовом комплексе пород основные выявленные залежи в Славянско-Рязанской впадине ЗКП приурочены к разрезам среднего миоцена (тархан-чокрак). Высокодебитные нефтяные и газоконденсатные залежи северного борта прогиба, осложненного серией гравитационных нарушений, связаны с линзовидными песчаными телами, сформированными в обстановке авандельт и конусов выноса. Внутренняя структура этих тел характеризуется значительной литологической изменчивостью с «мозаичным» распределением коллекторов. Обладая значительной толщиной (до 80 м) и площадным распространением (до 12–15 км), линзовидные тела содержат поровые коллекторы с высокими фильтрационно-емкостными свойствами. Промышленная продуктивность этих тел установлена на Прибрежной, Сладковской, Варавенской, Морозовской, Западно-Беликовской и ряде других площадей. Залежи приурочены к литологическим и комбинированным ловушкам, иногда с тектоническим ограничением с прогнозируемыми общими УВ ресурсами по разным оценкам от 80 до 120 млн т у. т. Ближайшими аналогами указанных объектов восточнее Славянско-Рязанской впадины являются объекты Южно-Андреевского участка с нефтепроявлениями в среднем чокраке. По предварительной оценке, в пределах Южно-Андреевского участка (более 20 локальных объектов), суммарный объем прогнозируемых ресурсов УВ в чокраке составляет около 19 млн т у. т. [1]

Рассматривая приосевую части ЗКП, в качестве наиболее перспективных объектов здесь следует отметить плиоцен-верхнемиоценовые разрезы Анастасиевско-Троицкой антиклинальной зоны. Сводные структурные построения [4] предполагают новую редакцию трассирования данной зоны к востоку от Троицкой площади – через Восточно-Троицкую и Федоровскую структуры, с выделением Темрюкско-Федоровской зоны и самостоятельной Оболонско-Марьянской антиклинальной зоны.

При этом перспективы нефтегазоносности восточного фрагмента Темрюкско-Федоровской зоны будут значительно выше перспектив Оболонско-Марьянской антиклинальной зоны. Подтверждает это выявление аномалии типа «залежь» (АТЗ) на Восточно-Троицком поднятии, получение промышленного притока газа из сарматских отложений в скважине Федоровская №1, а также отрицательные результаты бурения на Оболонской и Марьянской структурах [4].

Объекты плиоцен-миоцевого нефтегазоносного подкомплекса Анастасиевско-Троицкой зоны (сармат, мзотис, понт, киммерий), по предварительной оценке, могут содержать суммарный объем прогнозируемых ресурсов УВ до 25 млн т у. т. Помимо Восточно-Троицкого и Федоровского объектов здесь располагается еще целый ряд неизученных объектов, иногда с наличием АТЗ (Варнавинская, Львовская и другие площади). Выполненные исследования по обобщению, анализу и переинтерпретации геолого-геофизических материалов по ЗКП позволили выделить ряд предлагаемых для дальнейшего изучения перспективных направлений, связанных:

- с полосой формирования рифовых построек в Убинско-Черниговской (верхняя юра-берриас) зоне (южная бортовая часть Совербаш-Гунайской синклинали), а также объектов клиноформного типа в Убинско-Черниговской зоне неокосского разреза;

- с объектами разрезов зоны подмайкопских выступов;

- с объектами в майкопских отложениях (заливообразные ловушки на южном и северном бортах ЗКП, а также аналоги Краснодарской площади);

- с аналогами объектов разреза чокрака Плавневой зоны;

- с объектами разрезов плиоцен-верхнего миоцена на продолжении поднятий Анастасиевско-Троицкой зоны [1].

Литература

1. Акулич И.В., Ефимов В.И., Бондаренко Н.А. Перспективные направления поисков нефти и газа в Западном Предкавказье (по геолого-геофизическим данным) / И.В. Акулич. – Краснодар: Изд-во КубГУ, 2023. – 141 с.
2. Астахов С.М. Перспективы нефтегазоносности оксфорд-неокосских рифогенных отложений в пределах южного борта Западно-Кубанского прогиба. Ч. 2. Историко-генетическое моделирование нефтегазоносности новых выделенных объектов [Текст] / С.М. Астахов, Ю.А. Мосякин, А.Ю. Мосякин // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2015. – Т. 10. – № 4. – 22 с.
3. Будков Г.К. Результаты региональных сейсморазведочных работ в Краснодарском крае в 2007 году (федеральный бюджет) [Текст] / Г.К. Будков, А.Ю. Мосякин, В.И. Ефимов // Нефть и газ юга России, Черного, Азовского и Каспийского морей. – 2008: тез. докл. V Международной конференции по проблеме нефтегазоносности Черного, Азовского и Каспийского морей. – Геленджик: ГНЦ ФГУП «Южморгеология», 2008. – С. 72-80.
4. Ефимов В.И. Перспективы нефтегазоносности приосевой части Западно-Кубанского прогиба [Текст] / В. И. Ефимов // Булатовские чтения: научный журнал. – Краснодар: ООО «Издательский Дом-Юг», 2022. – № 1. – С. 71-73.

**УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПРИСАЯНСКОЙ СВИТЫ ПО ДАННЫМ
РЕНТГЕНОФЛЮОРЕСЦЕНТНОГО И РЕНТГЕНОСТРУКТУРНОГО АНАЛИЗОВ
НА МЕСТОНАХОЖДЕНИИ ВЛАДИМИРОВКА (ИРКУТСКИЙ БАССЕЙН, СРЕДНЯЯ ЮРА)
Андрейча Д.В.**

Научный руководитель доцент С.В. Иванцов

Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия

Местонахождение-лагерштетт Владимирова интересно своими захоронениями хорошо сохранившихся юрских рыб, насекомых, флоры. Стратиграфически оно относится к присаянской свите Иркутского угольного бассейна на основании литологического состава и флористического комплекса [1]. Местонахождение расположено в пределах Тулунского района Иркутской области у одноименной деревни на левом берегу р. Ия. В 2023 г. совместной экспедицией Томского государственного университета и Института Земной коры СО РАН было проведено литологическое описание двух точек наблюдения с послойным отбором 33 проб для проведения комплексных исследований отложений. В центре коллективного пользования ТГУ «Аналитический центр геохимии природных систем» были проведены рентгенофлуоресцентный (РФА) и рентгеноструктурный (РСА) анализы.

По результатам РФА, согласно методике Юдович Я.Э. и Кетрис М.П. [2], были рассчитаны следующие петрохимические модули: ГМ – гидролизатный модуль $(\text{TiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MnO})/\text{SiO}_2$; ТМ – титановый модуль $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$; ЖМ – железный модуль $(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MnO})/(\text{TiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3)$; ФМ – фемический модуль $(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MnO} + \text{MgO})/\text{SiO}_2$; НКМ – модуль нормированной щелочности $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3$; АМ – алюмокремниевый модуль $(\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2)$; ЦМ – щелочной модуль $(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O})$.

По значениям гидролизатного модуля (0,37–0,54), все образцы относятся к сиаалитам (0,3–0,55), при этом 12 проб относятся к подтипу суперсиаалиты (0,49–0,55), остальные – к подтипу нормосиаалиты (таб.); 7 проб имеют повышенное значение MnO (3,01–3,28 %), за счет присутствия хлорита.

Преобладают нормально щелочные сиаалиты, однако в двух пробах точки наблюдения 2 наблюдается значение $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ более 5 %, указывающее на их щелочность [2].

Таблица

**Химический состав (в %) и петрохимические модули терригенных пород
местонахождения Владимирова**

Компоненты	Псаммитовые сиаалиты (n 20)			Алевролитовые сиаалиты (n 10)			Пелитовые сиаалиты (n 3)		
	Среднее	Мин	Макс	Среднее	Мин	Макс	Среднее	Мин	Макс
SiO ₂	58,09	54,97	63,83	56,59	52,42	61,85	55,20	52,13	57,16
Al ₂ O ₃	18,57	16,08	20,63	18,61	17,11	21,11	18,37	16,26	20,15
Fe ₂ O ₃ tot	6,87	5,28	8,44	7,09	6,01	7,98	6,96	5,78	7,65
MnO	0,05	0,04	0,07	0,05	0,04	0,06	0,05	0,04	0,05
MgO	2,68	2,14	3,22	2,86	2,55	3,28	2,67	2,39	3,04
CaO	1,00	0,76	1,16	0,99	0,72	1,24	0,94	0,77	1,14
Na ₂ O	1,68	1,11	2,05	1,65	1,13	2,15	1,38	1,03	1,58
K ₂ O	2,72	2,29	3,10	2,89	1,99	4,17	2,54	2,22	2,73
TiO ₂	1,073	0,847	1,239	1,059	0,851	1,224	0,975	0,871	1,028
P ₂ O ₅	0,18	0,08	0,24	0,16	0,06	0,25	0,13	0,09	0,16
S	0,01	0,01	0,03	0,02	0,01	0,03	0,03	0,01	0,06
ППП	6,71	5,03	12,99	7,64	2,72	10,18	10,39	6,18	14,99
Na ₂ O+K ₂ O	4,47	3,56	5,10	4,55	3,80	5,81	3,92	3,25	4,26
ГМ	0,46	0,37	0,52	0,48	0,41	0,54	0,48	0,43	0,51
ТМ	0,058	0,050	0,068	0,057	0,049	0,062	0,054	0,047	0,063
ФМ	0,17	0,12	0,20	0,18	0,14	0,20	0,17	0,16	0,19
ЖМ	0,35	0,27	0,50	0,36	0,29	0,43	0,36	0,30	0,43
НКМ	0,24	0,20	0,31	0,25	0,20	0,34	0,22	0,17	0,26
АМ	0,32	0,26	0,37	0,33	0,29	0,39	0,33	0,28	0,36
ЦМ	0,32	0,45	0,75	0,61	0,27	1,08	0,54	0,46	0,59
НМ	0,09	0,06	0,12	0,09	0,05	0,12	0,08	0,06	0,09
КМ	0,15	0,12	0,19	0,16	0,11	0,22	0,14	0,12	0,17
СІА	77	73	80	77	71	81	79	76	81
СІW	87	84	90	87	84	92	89	87	90
ICV	0,86	0,71	1,16	0,89	0,73	1,09	0,85	0,73	0,98
PIA	85	81	89	86	81	91	87	85	88

Коэффициент вариации петрохимических модулей определяются в диапазоне 9–22 %, что указывает на генетическую однородность пород источников сноса. Модуль нормированной щелочности НКМ, отражающий соотношение слюды и полевых шпатов, менее 0,31, указывает на преобладание слюды в изучаемых отложениях [2].

На диаграмме $\lg(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3) - \lg(\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{общ}/\text{Al}_2\text{O}_3)$ М. Хиррона [5] все фигуративные точки образцов сконцентрированы в области сланцев. На модульной диаграмме НКМ–ФМ [2] преобладающая часть точек

располагается в полях хлорит-монтмориллонит-гидрослюдистых глин и в пределах пересечения с полем преимущественно смектитовых глин с примесью каолинита и гидрослюды. Данные диаграммы согласуются с результатами рентгеноструктурного анализа и подчеркивают минералогическую зрелость материала области сноса.

Для определения состава материала источников сноса были использованы: индекс интенсивности химического выветривания $CIA = [Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O)] \times 100$ [6]; химический индекс выветривания $CIW = [Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O)] \times 100$ [4]; индекс зрелости осадков $ICV = (Fe_2O_3 + K_2O + Na_2O + CaO + MgO + TiO_2) / Al_2O_3$ [3] и индекс степени преобразования плагиоклазов $PIA = [(Al_2O_3 - K_2O) / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O - K_2O)] \times 100$ [4]. Значения CIA превышают 71, что характерно для тонкой алюмосиликокластики зон гумидного климата. Соотношение K_2O / Al_2O_3 находится в диапазоне 0,11–0,22, что указывает на отложения рециклированного характера, т.е. отложения прошли более чем один цикл выветривания и переотложения. Диаграмма CIA–ICV указывает на высокую степень выветривания пород преимущественно основного состава. Величина титанового модуля (TiO_2 / Al_2O_3) в отложениях в среднем составляет 0,057 (0,047–0,068), что также свидетельствует об основном составе источника сноса [2].

Относительно высокая величина титанового модуля объясняется фациальными условиями формирования отложений, высокой или низкой динамикой среды, а также климатическими условиями. Величина Al_2O_3 / TiO_2 в исследуемых отложениях составляет 18 ± 5 , что также указывает на гумидные условия формирования [2]. На основе анализа полученных данных удалось произвести химическую классификацию отложений, определить их зрелость и интенсивность выветривания, а также установить состав источника сноса. Полученные результаты указывают что осадконакопление присаянской свиты осуществлялось в условиях теплого гумидного климата. Автор выражает благодарность Фролову Андрею Олеговичу, научному сотруднику Института земной коры СО РАН, за помощь в организации полевых исследований и Афониному Игорю Викторовичу, доценту Томского государственного университета за помощь в интерпретации результатов геохимических анализов.

Исследование выполнено в рамках гранта Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № FSWM-2025-0015.

Литература

1. Киричкова А.И. Юрские континентальные отложения в разрезах страторегиона Иркутского угленосного бассейна / А.И. Киричкова, Е.И. Костина, Н.В. Носова // Стратиграфия. Геологическая корреляция. – 2017. – Т. 25. – № 5. – С. 17–40.
2. Юдович Я.Э. Основы литохимии [Текст] / Я.Э. Юдович, М.П. Кетрис. – СПб.: Наука, 2000. – 497 с.
3. Cox, R. The influence of sediment recycling and basement composition on evolution of mudrock chemistry in southwestern United States / R. Cox, D.R. Lowe, R.L. Collins // Geochim. et Cosmochim. – Acta, 1995. – V. 59. – P. 2919–2940.
4. Fedo C.M. Unraveling the effects of potassium metasomatism in sedimentary rocks and paleosols, with implications for paleoweathering conditions and provenance [Text] / C.M. Fedo, H.W. Nesbitt, G.M. Young // Geology. – 1995. – V. 23. – P. 921–924.
5. Herron M.M. Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data [Text] // J. Sed. Petrol. – 1988. – V. 58. – P. 820–829.
6. Nesbitt H.W. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lites / H.W. Nesbitt, G.M. Young // Nature. – 1982. – V. 299. – P. 715–717.

ИЗМЕНЕНИЕ ИЗОТОПНОГО СОСТАВА ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА ПОРОД И НЕФТЕЙ БАЖЕНОВСКОЙ СВИТЫ С РОСТОМ КАТАГЕНЕЗА

Баженова О.А.^{1,2}, Кашапов Р.С.^{1,2}

Научный руководитель к. г.-м. н. Р.С. Кашапов

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

²АО «Томский научно-исследовательский и проектный институт нефти и газа»,
г. Томск, Россия

Известно, что с увеличением температурного возраста осадочных пород их изотопный состав углерода становится более тяжелым. В ходе наших исследований пород баженовской свиты мы зафиксировали изменение изотопного состава в пределах 3 ‰, что соответствует диапазону от -29 до -32 ‰ [1, 2]. Этот результат обусловлен не только процессом катагенеза, но и фациальной неравномерностью.

Чтобы компенсировать воздействие данной неоднородности, была использована термическая обработка недозревшей органики, что позволило установить связи между значением НІ и изотопным соотношением углерода в образце ($\delta^{13}C_{rock}$). На основании информации, полученной через термическую обработку множества проб, взятых из разных участков Западно-Сибирского осадочного бассейна, была разработана модель. Экспериментальные исследования показали, что при полной трансформации органического вещества в породах наблюдается утяжеление изотопного состава примерно на 0,8 ‰ (рис. 1а). Эти данные играют важную роль для прогнозирования изотопных характеристик нефти и газа, формирующихся в ходе катагенетических процессов в материнских породах.

Изотопный состав органического углерода, содержащегося в породах, представляет собой сложную аддитивную величину, которая формируется в результате сочетания изотопных характеристик углерода, содержащегося в исходном материале для пиролиза, и тех, что присущи углероду, оставшемуся после процесса пиролиза [3]. Этот процесс превращения органического вещества в углеродные продукты имеет свои особенности, которые отражаются на конечном изотопном составе.

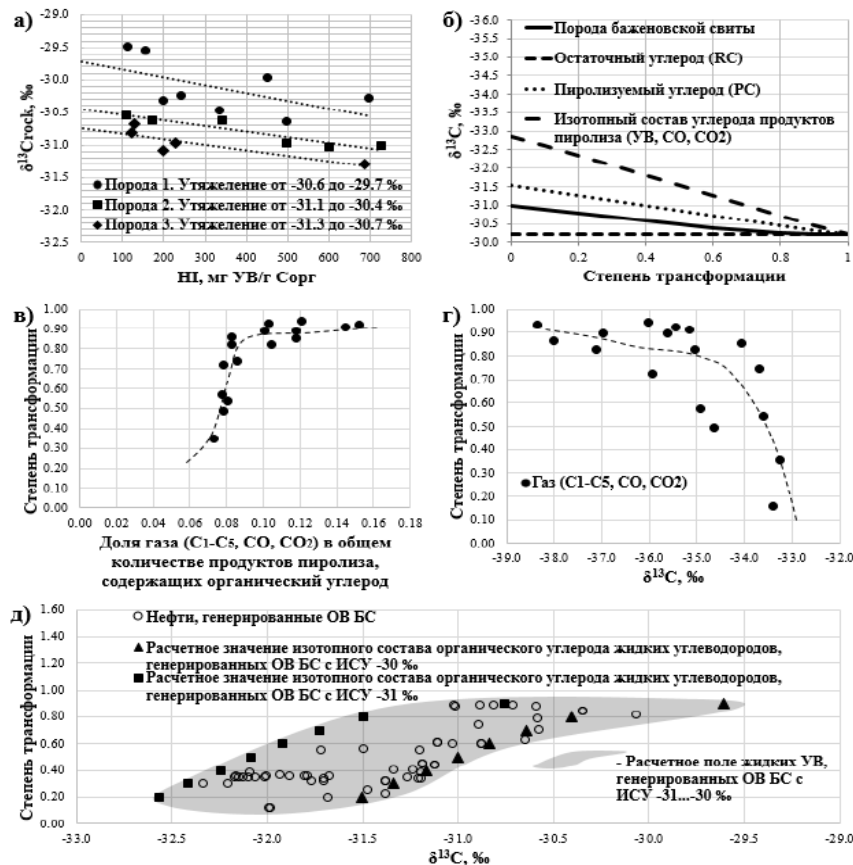


Рис. 1. Изменение изотопного состава пород и продуктов пиролиза от степени трансформации органического вещества баженовской свиты: а – взаимосвязь изменения водородного индекса и ИСУ пород БС с ростом степени трансформации; б – зависимость ИСУ пиролитических параметров породы и продуктов пиролиза от степени трансформации ОВ БС; в – зависимость доли газа от степени трансформации ОВ БС; г – зависимость ИСУ газа, генерируемого ОВ БС, с ростом степени трансформации; д – расчетное поле жидких УВ, генерированных ОВ БС с ИСУ -31...-30 ‰, с нанесенными на него фактическими данными ИСУ нефтей баженовской свиты

В частности, если рассмотреть незрелое органическое вещество, обнаруженное в составе баженовской свиты, то можно отметить, что его изотопный состав углерода колеблется в пределах значений от -30 до -31.0 ‰. При этом соотношение между количеством углерода, который подвергается пиролизу, и тем, что остается после этого процесса, составляет 3 к 2. Изотопный состав остаточного углерода равен -29.2...-30.2 ‰. В процессе проведения детального исследования, которое позволяет нам с высокой точностью определить изотопный состав углерода, который подвергается пиролизу, и углерода, который остается после этого процесса, мы также можем анализировать динамику изменений изотопного состава продуктов, получаемых в результате пиролиза. К таким продуктам относятся углеводороды, угарный (CO) и углекислый (CO₂) газы. Данные исследования позволяют нам получить ценные сведения о процессе пиролиза и его результатах. На рисунке 1б, который прилагается к данному исследованию, можно наблюдать результаты расчетов, выполненных для значения δ¹³Crock, равного -31 ‰. Эти данные являются ключевыми для понимания процессов, происходящих в ходе пиролиза, и могут быть использованы для дальнейшего анализа и прогнозирования результатов этих процессов.

На рисунке 1в показана экспериментальная зависимость доли газа (C₁–C₅, CO и CO₂) в продуктах незрелых пород с увеличением степени трансформации.

Если учесть данные с рисунков 1б, 1в и 1г, то можно предсказать вероятное поле нефтей с изотопным составом в диапазоне от -30 до -31 ‰, что будет подтверждаться экспериментальным путем, исследованные нефти баженовской свиты практически полностью соответствуют рассчитанному диапазону изотопных значений.

Литература

1. Конторович А.Э. Изотопный состав углерода органического вещества и битумоидов и некоторые спорные вопросы теории образования нефти [Текст] / А.Э. Конторович, Н.А. Верховская, И.Д. Тимошина и др. // Геология и геофизика. – 1986. – № 5. – С. 3-13.
2. Гончаров, И.В. Изотопный состав углерода экстрактов из пород баженовской свиты различного катагенеза [Текст] / И.В. Гончаров, В.В. Самойленко, М.А. Веклич и др. // XXI симпозиум по геохимии изотопов имени академика А.В. Виноградова: Тезисы докладов. – Москва, 2016. – С. 187-190.

3. Behar F. Rock-Eval 6 Technology: Performances and Developments [Text] / F. Behar, V. Beaumont, H.L. De B. Penteadó // Oil & Gas Science and Technology. – Rev. IFP. – 2001. – V. 56. – № 2. – P. 111-134.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЛЮМИНЕСЦЕНТНО-БИТУМИНОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА В УСЛОВИЯХ РАЗРАБОТКИ СЕВЕРО-РАЧКОВСКОГО НЕФТЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Боковой Д.И., Акулич И.В., Григорьев Г.Д.

Научный руководитель старший преподаватель И.В. Акулич

Кубанский государственный университет, г. Краснодар, Россия

Люминесцентно-битуминологический анализ (ЛБА) представляет собой методику, которая используется для изучения состава и содержания битуминозных веществ (БВ) в образцах породы, основываясь на наблюдении за их люминесценцией. Данный метод находит широкое применение в области геологии нефти и газа [1].

Основные принципы люминесцентно-битуминологического метода отражены во многих учебных и научных изданиях [1-8] и в основе своей базируются на определении количественного содержания БВ и изучении их качественного состава.

Люминесценция возбуждается под воздействием ультрафиолетового излучения. Ключевыми параметрами люминесценции являются её цвет и интенсивность. Цвет люминесценции зависит от качественного состава БВ и может определяться визуально, либо с помощью специального прибора – люминоскопа. Интенсивность же связана с индивидуальными характеристиками и концентрацией БВ. Также важно учитывать наличие флуоресценции, её длительность и яркость.

На Северо-Рачковском нефтяном месторождении Оренбургской области ЛБА проводился авторами по 434 образцам горных пород шламовой размерности, полученных при разработке скважины №1043, пробуренной с применением бурового раствора на углеводородной основе.

Применялись различные методы для получения шлихов из пород разного состава: метод декантации или отмучивания для рыхлых или слабо уплотнённых осадочных пород и метод прокаливания для дезинтеграции известняков, доломитов, а также песчаников с карбонатным цементом.

В результате измельчения образцов были получены шлихи обломочного материала, которые рассматривались под ультрафиолетовым светом в люминоскопе «Филин». По цвету свечения породы или обеззолённого диска делался вывод о составе битумоида.

В условиях полевой практики, весь процесс анализа сводился к определённой последовательности действий: отбор шлама на виброситах, отмыв шлама от бурового раствора и прочих примесей, просушка образцов в духовом шкафу, измельчение образцов (декантация), помещение на обеззолённый диск одного грамма измельчённой породы и промачивание хлороформом, просушка диска и изучение его под ультрафиолетом.

По итогам проведения анализа, было выделено две группы битумоидов, цвет люминесценции которых можно охарактеризовать по глубине нахождения.

Так, в интервале глубин от 0 до 2082 метров ЛБА показывал результаты, свидетельствующие об отсутствии битумоидов в составе выбуренных пород (2-БГ-ЛБ) (рис. 1а). В интервале от 2082 до 2160 м, анализ указывал на вскрытие продуктивных горизонтов (4-ОЖ-МСБ) (рис. 1б).

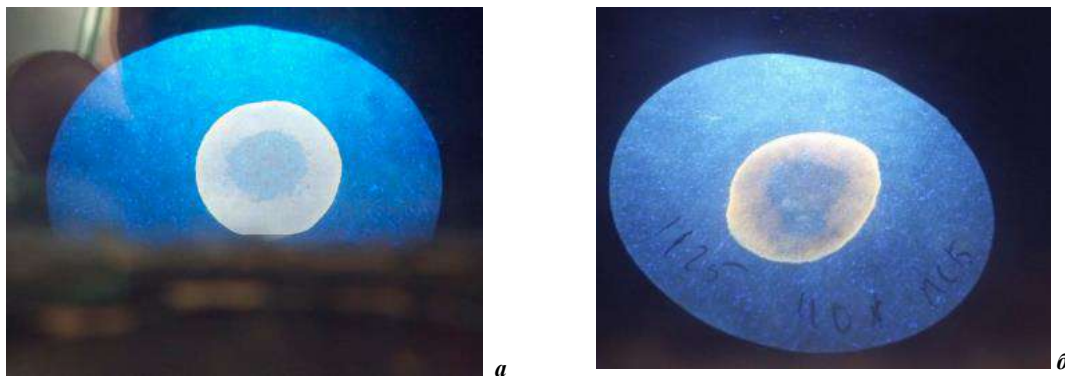


Рис. 1. Общий результат люминесцентно-битуминологического анализа шлама скважины №1043 Северо-Рачковского месторождения (фото авторов). Интервал глубин: а) 0-2082 м; б) 2082-2160 м

Для интерпретации полученных данных была использована таблица Флоровской В.Н. «Люминесцентно-битуминологический анализ». Так, в результате интерпретации общего результата, представленного на рисунке 1а, по методике Флоровской В.Н. [1], выводится аббревиатура 2-БГ-ЛБ, где 2 – количественная оценка содержания битумоида (определяется по визуальной оценке ореола на диске).

- БГ – цвет люминесценции под ультрафиолетовым излучением,
- ЛБ – представляет собой тип битумоида.

Результат исследования образца, представленного на рисунке 1б, может быть отображен в виде аббревиатуры 4-ОЖ-МСБ, где 4 – группа, ОЖ – оранжево-жёлтый битумоид, МСБ – маслянисто-смолистый битумоид.

По завершению бурения скважины и проведения ЛБА, было определено, что из 434 образцов 123 относятся к вскрытым продуктивным горизонтам.

Таблица

Методика выявления состава битумоида по цвету свечения [6]

ЛЮМИНЕСЦЕНТНО-БИТУМИНОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ /ЛБА/, по Фроловской В.Н.			
Группа	Цвет люминесценции капиллярных вытяжек		Тип битумоида
1	БГ	беловато-голубые тона	УВ флюиды, не содержащие смол и асфальтенов.
2	Б	белый	Нефть и битумоиды с низким содержанием смол, асфальтенов мало или нет.
	ГЖ	голубовато-желтый	
	БЖ	беловато-желтый	
3	Ж	желтый	Нефть и битумоиды с содержанием асфальтенов 1-2%, масел более 60 %.
	ОЖ	оранжево-желтый	
	О	оранжевый	
	СК	светло-коричневый	
4	ОК	оранжево-коричневый	Нефть и битумоиды с содержанием асфальтенов 3-20 %
	СК	светло-коричневый	
	К	коричневый	
5	ТК	темно-коричневый	Нефть и битумоиды с содержанием асфальтенов 20 % и более
	ЗК	зеленовато-коричневый	
	КК	красно-коричневый	
	ЧК	черно-коричневый	
	ЧЗ	черно-зеленый	
	Ч	черный	
КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ БИТУМОИДОВ			
Форма участка	Характеристика участка		Балл
	Ровное пятно		5
	Неровное пятно, толстое кольцо		4
	Тонкое кольцо		3
	Тонкое рваное кольцо		2
	Точки		1

Основным преимуществом люминесцентно-битуминологического анализа является простота и лёгкость проведения исследования, а также достаточно высокая чувствительность [4]. Таким образом, данный метод является в достаточной мере точным для поиска продуктивных пластов в полевых условиях и предоставляет эффективный инструмент для изучения БВ в горных породах, который находит широкое применение в нефтегазовой отрасли.

Литература

1. Баранова Т.Э. Руководство по методике люминесцентно-битуминологических исследований [Текст] / Т.Э. Баранова, А.А. Ильина, В.Н. Фроловская. – Л.: Недра, 1966. – 113 с.
2. Васильев В.В. Геохимические исследования при поисках нефти и газа: метод. указания / В.В. Васильев. – Ухта: УГТУ, 2013. – 58 с.
3. Волкова М.С. Теоретико-методологическая характеристика люминесцентно-битуминологического анализа каменного материала [Текст] / М.С. Волкова, В.А. Силаев // Исследования молодых ученых: материалы LVII Международной научной конференции «Исследования молодых ученых». – Казань: Молодой ученый, 2023. – С. 5-9.
4. Лукашев О.В. Геохимические методы поисков [Текст]: учебное пособие / О.В. Лукашев. – Минск: БГУ, 2010. – С. 35-39.
5. Люминесцентно-битуминологический анализ [Текст]: методическое пособие по выполнению анализа для бакалавров направления 05.03.01 «Геология», профиль «Геология и геохимия горючих ископаемых» / сост. И.Н. Плотникова, Р.А. Батырбаева, В.М. Смелков. – Казань: Казанский университет, 2015. – 24 с.
6. Недоливко Н.М. Исследование керна нефтегазовых скважин [Текст]: учебное пособие / Н.М. Недоливко. – Томск: Изд-во ТПУ, 2006. – 170 с.
7. Резников А.Н. Люминесцентно-битуминологические исследования осадочных пород [Текст]: учеб. пособие / А.Н. Резников, В.В. Доценко, В.В. Харчук – Ростов-на-Дону: Изд-во Ростовского университета, 2006. – 19 с.
8. Lakowicz J.R. Principles of fluorescence spectroscopy – 3rd ed. [Text] / J.R. Lakowicz. – New York: Springer. – 2006. – 954 p.

КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ ПРИ ПОСТРОЕНИИ ФАЦИАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ НА ПРИМЕРЕ ОДНОГО ИЗ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ (ВАСЮГАНСКАЯ СВИТА, БАХИЛОВСКИЙ МЕГАВАЛ)

Ворончук А.Д.

Научный руководитель профессор В.Б. Белозёров

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Введение

Построение фациальных моделей является важным этапом при изучении осадочного резервуара, моделирование позволяет установить пространственное распределение различных фаций, и, как следствие, свойств горных пород. Однако, в ряде случаев, предоставляемые недропользователем данные ограничиваются литологическим описанием и фотографиями керна, чего недостаточно для построения детальных фациальных моделей. В связи с этим, в данном исследовании предлагается применение комплекса дополнительных аналитических методов, косвенно указывающих на фациальную приуроченность. В рамках работы рассматриваются следующие методы: электрометрический и гранулометрический анализы, использование которых позволяет существенно расширить информационную базу и повысить достоверность построения фациальных моделей.

Электрофациальный анализ

При литологическом анализе керна рассматриваемого месторождения были выделены фации дельтовых каналов, устьевых баров и межканальных отложений. Каналам свойственны следующие отличительные признаки: невысокая степень биотурбации, средняя сортировка, волнистая, полого-наклонная, косая слоистость, увеличение зернистости вверх по разрезу, тонкораспылённый углефицированный детрит, наличие в верхней части канала аргиллитов. Устьевые бары характеризуются отсутствием биотурбации, преобладанием массивной текстуры, хорошей сортировкой, наличием углефицированного растительного детрита, тонкораспылённым сидеритом. Данные фации (канал и устьевой бар) обладают улучшенными коллекторскими свойствами. В качестве неколлектора выделены межканальные отложения, представленные глинистыми и алевритистыми отложениями с высокой степенью биотурбации, пиритизации и сидеритизации. На основании вышеперечисленных факторов, была принята дельтовая обстановка осадконакопления. Для фаций переходной (дельтовой) группы по методикам Муромцева В.С. и Шнейдера Р.М. (рис. 1) были выделены характерные формы кривых ПС и ГК [2, 6]. Дельтовым каналам свойственны формы ПС (ГК) «колокольчик» и «коробка», свидетельствующие об уменьшении размера зерна к верхней части разреза. Барам характерна форма ПС (ГК) типа «воронка», что обусловлено увеличением размера зерна к верхней части бара. После выделения характерных форм кривых, было проведено их сопоставление с седиментологическим описанием керна с целью выявления идентичности признаков дельтового комплекса по литологическим и электрометрическим данным.

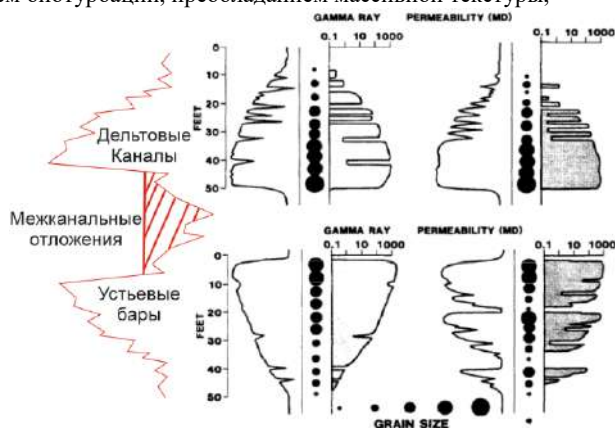


Рис. 1. Характерные формы кривых ПС и ГК для принятых фаций [2, 6]

Гранулометрический анализ

Гранулометрический анализ базируется на интерпретации графиков, построенных по статистическим параметрам распределения, что исключает субъективизм в интерпретации фациальных обстановок. В качестве гранулометрических данных были использованы результаты 11-фракционного ситового анализа, по которым на основе методики Гостинцева [1] были рассчитаны статистические параметры распределения: асимметрия, эксцесс, средневзвешенный диаметр, коэффициент сортировки, медианный диаметр, диаметр 1 % квантиля. Данные параметры были использованы при построении динамогенетических диаграмм Г.Ф. Рожкова, Л.Б. Рухина и С.М. Пассеги [3, 4, 5]. На диаграмме Рухина (рис. 2), основной объём точек сконцентрировался в области русловых и прибрежных песков, по диаграмме Пассеги (рис. 3), точки располагаются в областях с высокими, средними и низкими скоростями, по диаграмме Рожкова (рис. 4), точки располагаются в областях выходов волн на мелководье, в меньшем объёме речных и вдольбереговых течений. На основе обобщённого анализа построенных динамогенетических диаграмм, району осадконакопления свойственны как континентальные (речные), так и прибрежно-морские и пляжевые фации, что не противоречит дельтовой обстановке седиментации.

Выводы

Согласно результатам проведенных исследований, формирование отложений происходило в переходных (дельтовых) обстановках осадконакопления.

При анализе статистических параметров распределения и размеров минеральных зёрен выделены как фации речных, так и прибрежных отложений.

По данным электрометрии и седиментологического описания керна выделены электрофации баров и дельтовых каналов.

4. Рухин Л. Б. Гранулометрический анализ песков [Текст] / Л. Б. Рухин. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1947. – 213 с.
5. Шванов В.Н. Песчаные породы и методы их изучения [Текст] / В. Н. Шванов. – Л.: Недра, 1969. – 248 с;
6. Snieder R.M. Deltaic Environment Reservoir Types and Their Characteristics [Text] / R.M. Snieder, C.N. Tinker, L.D. Meckel. Journal of Petroleum Technology. – 1978. – V. 30(11). – P. 1538-1546.

ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ФОТОГРАФИРОВАНИЯ РАКОВИН ОСТРАКОД В ОТРАЖЕННОМ И ПРОХОДЯЩЕМ СВЕТЕ

Газизуллин Б.М.

Научный руководитель доцент Г.М. Татьянин

Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия

Основные методы изучения микрофауны (в частности, раковин остракод) с использованием оптического микроскопа изложены в работах В. В. Кривоборского [4, 5], Эриха Трибеля [12], а также в «Практическом руководстве по микрофауне СССР» [8] и «Методике палеонтологических исследований» [1, 3, 6].

С конца 1960-х годов активное внедрение в практику микропалеонтологии сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) повысило качество публикаций, но привело к снижению интереса к оптическим методам. Тем не менее, высокая стоимость СЭМ, сложность в эксплуатации и невозможность дальнейшего изучения сканированных образцов ограничивают его применение. Оптическая микроскопия, напротив, остается доступным и эффективным способом первичного изучения материала. Разнообразие объективов для микроскопа и фотоаппаратов позволяет любому исследователю собрать в лаборатории или на рабочем месте собственную микрофотографическую установку [7]. Об одном примере такой установки изложено в докладе автора под названием «Современная методика исследования раковин остракод и фораминифер: от настройки оборудования до получения цифровой фотографии» (в настоящий момент работа находится на стадии научного рецензирования).

В настоящем исследовании рассмотрена методика микрофотографирования остракод в отраженном и проходящем свете. В качестве объекта изучения выбрана *Bathoniella milanovskyi* Lyubimova – вид-индекс нижнего келловоя [9], представленный в авторской коллекции и происходящий из разреза Большие Тарханы (Республика Татарстан) [2].

Используемая микрофотографическая установка включает штатив микроскопа МБР-1 с конденсором КОН-3, макрокольца М42, переходник с Sony E на M42, фотоаппарат Sony NEX 5N и объектив-планахромат PL L 20x0,40 фирмы JLLSMCMGGX. Дополнительные элементы: беспроводной пульт спуска затвора, светодиодные лампы Elikliv GL01 (отраженный свет), светодиодный фонарик Ulanzi L2 (проходящий свет). Изображения обрабатывались в Imaging Edge (1.2.01.04031) и Adobe Photoshop 2024 (цветокоррекция, устранение хроматических aberrаций, кадрирование). Фокус-стекинг выполнялся в Helicon Focus (метод «карта глубин») и Zerene Stacker (метод «РМаш») [10, 11]. Масштаб во время съемки сохранялся постоянным (19,3:1) и калибровался в программе Levenhuk Lite. В качестве иммерсионной среды использовался дистиллированный глицерин.

Рассмотрены два метода съемки: в отраженном и проходящем свете. Вариации включали использование иммерсионной среды и изменение положения апертурной диафрагмы (рис. 1).

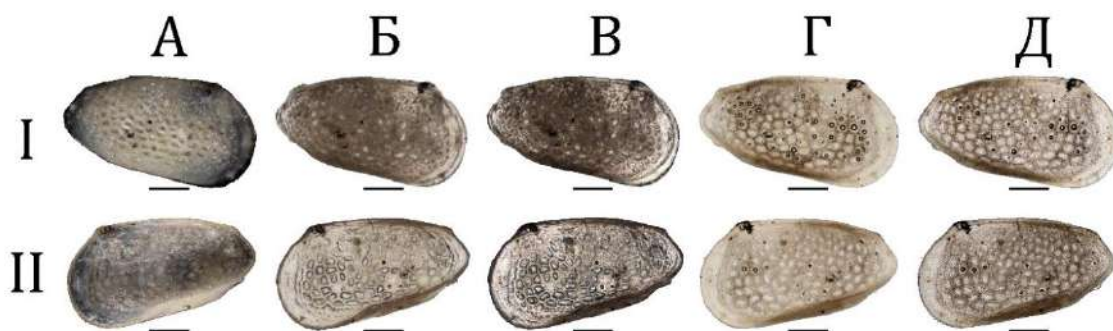


Рис. 1. Остракода *Bathoniella milanovskyi* Lyubimova (длина масштабной линейки – 0,1 мм): I – вид правой створки снаружи; II – вид правой створки изнутри; А – в отраженном свете; Б–Д – в проходящем свете: Б – без иммерсии с открытой диафрагмой; В – без иммерсии и уменьшенной апертурной диафрагмой; Г – с иммерсией и открытой диафрагмой; Д – с иммерсией и уменьшенной апертурной диафрагмой

При съемке в отраженном свете применялся рассеиватель из целлюлозной салфетки Kleenex, плотно прижатый к светодиоду червячным хомутом. Свет направлялся на объект таким образом, чтобы минимизировать блики и получить равномерное освещение. На итоговых изображениях (рис. 1, фиг. IА, IА) хорошо различима форма створки, поровые каналы (рис. 2, фиг. 1), но слабее выражены замковые элементы и мускульные отпечатки (рис. 2, фиг. 4, 7). Съемка в проходящем свете (рис. 1, фиг. IБ, IБ) позволила детально визуализировать морфологию ячеек, поровые каналы (рис. 2, фиг. 2) и структуру замка (рис. 2, фиг. 5), включая зубцы (7 – в переднем и 6 – в заднем отделе) и желобок в среднем отделе. Кроме того, в брюшном крае створки наблюдались характерные выемки, протягивающиеся вдоль вогнутого участка. Уменьшение апертурной диафрагмы до дифракционного предела (рис. 1, фиг. IВ, IВ) улучшало видимость таких морфологических элементов, как замок (рис. 2, фиг. 6), мускульные

отпечатки (рис. 2, фиг. 8, 9) и поры (размер пор – до 0,01 мм). Использование глицерина (рис. 1, фиг. IГ, IIГ) снижало контрастность, делая раковину и среду оптически однородными (рис. 2, фиг. 3). Уменьшение апертурной диафрагмы при этом частично компенсировало потери контраста, что позволило хорошо обозначить контуры ячеек (рис. 1, фиг. IД, ПД).

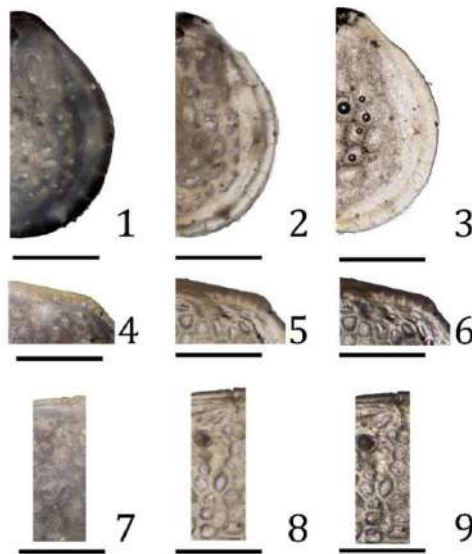


Рис. 2. Отображение основных морфологических элементов *Bathoniella milanovskyi* Lyubimova (длина масштабной линейки – 0,1 мм): 1-3 – поровые каналы: 1 – в отраженном свете; 2 – в проходящем свете без иммерсии с открытой диафрагмой; 3 – в проходящем свете с иммерсией и уменьшенной апертурной диафрагмой; 4-6 – замок заднего отдела: 4 – в отраженном свете; 5 – в проходящем свете без иммерсии с открытой диафрагмой; 6 – в проходящем свете без иммерсии и уменьшенной апертурной диафрагмой; 7-8 – мускульные отпечатки: 7 – в отраженном свете; 8 – в проходящем свете без иммерсии с открытой диафрагмой; 9 – в проходящем свете без иммерсии и уменьшенной апертурной диафрагмой

Исследование показало, что выбор типа освещения и среды существенно влияет на детализацию морфологии раковин остракод. Фотографирование в отраженном свете эффективно для выявления общей формы створки и крупных структур, тогда как проходящий свет с вариацией апертурной диафрагмы и иммерсионной среды позволяет визуализировать мелкие детали, включая отдельные элементы замка, мускульные отпечатки и поры. Оптимальное сочетание различных методов обеспечивает комплексный подход к изучению морфологии раковин остракод, что расширяет возможности микропалеонтологических исследований и повышает достоверность получаемых результатов.

Литература

1. Бенсон Р.Х. Фотографирование микроископаемых [Текст] / Р.Х. Бэнсон // Методика палеонтологических исследований. – 1973. – Т. 51. – С. 360-370.
2. Газизуллин Б.М. Биостратиграфия нижней части разреза Большие Тарханы (Республика Татарстан) [Текст] / Б.М. Газизуллин // Проблемы геологии и освоения недр. – 2024. – Т. 1. – С. 16-19.
3. Зон И.Г. Остракоды [Текст] / И.Г. Зон, Ж.М. Бердан, Р.Э. Пек // Методика палеонтологических исследований. – 1973. – Т. 51. – С. 73-83.
4. Кривоборский В.В. Достижения в области объемного микрофотографирования [Текст] / В.В. Кривоборский // Труды Первого семинара по микрофауне. – 1960. – С. 138-187.
5. Кривоборский В.В. Стереоскопическое микрофотографирование фораминифер [Текст] / В.В. Кривоборский // Труды ВНИГРИ. – 1960. – Вып. 153. – С. 327-339.
6. Расетти Ф. Фотографирование ископаемых [Текст] / Ф. Расетти // Методика палеонтологических исследований. – 1973. – Т. 51. – С. 360-370.
7. Роскин Г.И. Микроскопическая техника [Текст] / Г.И. Роскин, Л.Б. Левинсон. – М.: Советская наука, 1957. – 469 с.
8. Соколов Б.С. Практическое руководство по микрофауне СССР. Т. 3 [Текст]: справочник для палеонтологов и геологов / Б.С. Соколов, А.И. Жамойда, М.С. Месежников и др. – Л.: Изд-во Недр, 1989. – 235 с.
9. Тесакова, Е. М. Новые роды остракод *Bathoniella* (бат и нижний келловей Восточно-Европейской платформы и Северной Германии) и *Parabathoniella* (нижний и средний бат Шотландии). Ч. 1: систематика [Текст] / Е. М. Тесакова // Стратиграфия. Геологическая корреляция. – 2024. – Т. 32. – № 4. – С. 73-96.
10. Helicon Focus 8 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.heliconsoft.com/focus/help/english/HeliconFocus.html>.
11. How To Use Zerene Stacker [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://zerenesystems.com/cms/stacker/docs/howtouseit>.
12. Triebel, E. Die Photographie im Dienste der Mikropaläontologie [Text] / E. Triebel, H. Freund // Handbuch der Mikroskopie in der Technik. – 1958. – Band II. – Teil 3. – P. 83-144.

СТИЛОЛИТИЗАЦИЯ: ФАКТОР ЭВОЛЮЦИИ ПРОНИЦАЕМОСТИ КАРБОНАТНЫХ ПОРОД

Назарова А.А.

Научный руководитель доцент Л.А. Краснощекова

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Западно-Сибирский мегабассейн занимает ключевое место в экономике России благодаря масштабной добыче углеводородного сырья. В этом контексте Томская область представляет собой уникальный опытно-промышленный полигон, где успешно реализуются методики обнаружения и эксплуатации залежей углеводородов как в платформенных отложениях, так и в породах фундамента.

Объектом исследования являются карбонатные отложения кровельной части палеозойского фундамента (верхний девон) Урманского месторождения. Макроскопическое описание пород дано по керновому материалу, полученному при бурении параметрической скважины Урманского лицензионного участка. Вещественный состав пород, палеонтологические остатки и текстурно-структурные признаки уточнялись посредством изучения петрографических шлифов с использованием петрографического исследовательского микроскопа Olympus BX53F.

Породы изучаемого интервала представлены обломочно-органогенными, органогенными, оолитовыми известняками с глинисто-карбонатным (преимущественно кальцитового состава) микрокристаллическим цементом базального, реже порового типов. В образках отмечается большое количество обломков детритового материала хорошей сохранности, представленного створками брахиопод, остракодами, иглокожими, водорослями и фораминиферами.

Постдиагенетические преобразования пород проявлены в повсеместной стилолитизации, а также в образовании сети микротрещин, заполненных вторичным кальцитом. Микротрещины имеют различную конфигурацию и морфологию, в основном являются протяженными.

Особый интерес в данной работе отводится систематической характеристике факторов, контролирующих морфологию стилолитов, для понимания и прогнозирования их распределения и потенциального влияния на поток флюида. Исследования зарубежных учёных показали, что стилолиты потенциально могут являться каналами, способствующими миграции флюида [3], так барьерами [2], препятствующими флюидомиграции.

Другие результаты исследований свидетельствуют о том, что стилолиты могут одновременно демонстрировать оба типа поведения [4] или изменять свою роль от барьеров к каналам (или наоборот) в течение геологической истории развития бассейна [5].

Морфологические особенности стилолитов в данной работе определялись по актуальной классификации Koehnthal [6]. Он выделяет четыре типа стилолитов: прямоугольные, «сейсмограммы», остроконечные и волнообразные. Генетически изученные стилолиты являются следствием постдиагенетических процессов, так как по морфологическим особенностям имеют более плавные очертания, отсутствует тип «сейсмограммы», в основном располагаются параллельно слоистости. В образках были определены три типа стилолитовых связей по классификации Ben-Itzhak [1]: (1) изолированные стилолиты; (2) длиннопараллельные стилолиты (не пересекающиеся) и (3) анастомозирующие сети соединенных стилолитов.

В изучаемых шлифах стилолиты протяженные волнообразные, остроконечные, реже прямоугольные, толщиной до 0,5 мм (рис. 1).

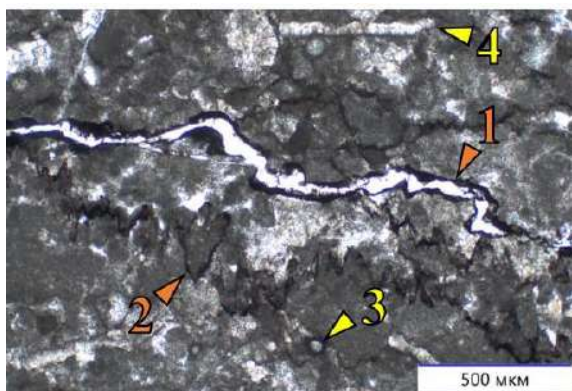


Рис. 1. Известняк органогенный со стилолитами волнообразного (1) и остроконечного (2) типов. Детрит представлен водорослями (3) и створками брахиопод (4) (вакстоун). Никколи скрещены



Рис. 2. Известняк органогенно-обломочный с анастомозами стилолитов. Детрит представлен обломками створок брахиопод (1), водорослями и продуктами их жизнедеятельности (вакстоун). Никколи скрещены

В некоторых образках отмечались сложные системы взаимосвязанных стилолитовых швов, которые переплетались между собой, образуя сеть с многочисленными соединениями (анастомозами) (рис. 2).

Установлено, что связность между стилолитами зависит не только от морфологии, но и от других факторов, таких как длина волны, амплитуда и ориентация.

Стилолиты с высокой амплитудой и длиной волны образовывали близко расположенные сетчатые сооружения (иногда анастомозирующие) и отмечались в основном в образцах с повышенным содержанием глинистой составляющей (рис. 2).

Также была зафиксирована прямая зависимость между морфологией стиловитов и размерами зерен и их сортировкой – чем хуже сортировка материала и больше размеры обломков, тем выше амплитуда и длина волны стиловитового шва.

Линейность стиловитов в образцах зависела от их типа и возрастала в следующем порядке: прямоугольные (рис. 3) → тип «сейсмограммы» → остроконечные → волнообразные (рис. 3).

Также этот параметр прямо пропорционально возрастал с увеличением гранулометрических размеров обломков породы и их сортировкой. Однако, более широкое расстояние между параллельными стиловитами (до 1 мм) зафиксировано на участках, представленных мелкозернистыми карбонатными разностями с равномерным распределением зерен.

Помимо этого, отмечена приуроченность стиловитов к границам между разными минеральными ассоциациями (рис. 4). Этот факт объясняется разной устойчивостью минералов к растворению, а также неоднородным давлением в точках соприкосновения стенок на границах минеральных ассоциаций.

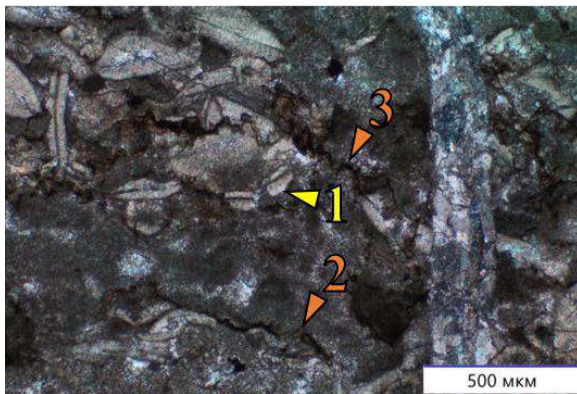


**Рис. 3. Известняк органогенный брахиоподовый (1) с развитием микростиловитов волнообразного (2) и прямоугольного (3) типов (вакстоун).
Никколи скрещены**

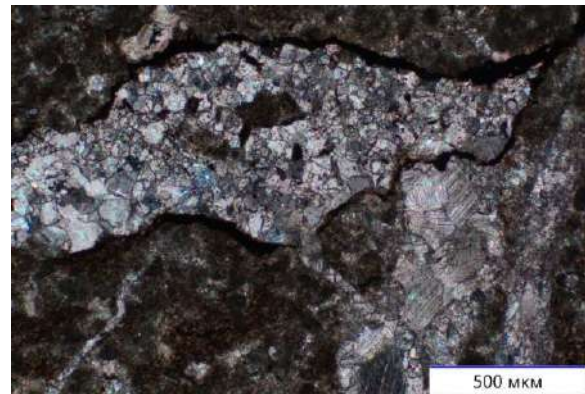


**Рис. 4. Известняк органогенно-обломочный с интракластами кальцита и приуроченными к ним волнообразными анастомозирующими стиловитовыми сетями (вакстоун).
Никколи скрещены**

Таким образом, установлена прямая зависимость между минералогическим и гранулометрическим составом карбонатных отложений и морфологическими особенностями стиловитовых швов.

Стиловитизация, произошедшая в следствие постдиагенетических преобразований, оказала положительное и ключевое влияние на повышение проницаемости пород. Приуроченность органического вещества к стиловитовым швам указывает на его миграцию по данной текстурной сети.

Литература

1. Ben-Itzhak L.L. Sedimentary stylolite networks and connectivity in limestone: Large-scale field observations and implications for structure evolution [Text] / L. L. Ben-Itzhak; E. Aharonov, Z. Karcz, M. Kaduri, R. Toussaint // Journal of Struct. Geol. – 2014. – V. 63. – P. 106-123.
2. Nelson R.A. Significance of fracture sets associated with stylolite zones [Text] / R. A. Nelson // Am. Assoc. Pet. Geol. Bull. – 1981. – V. 65. – P. 2417-2425.
3. Wong P.K. Burial cementation in the Devonian, Kaybob Reef complex, Alberta, Canada. [Text] / P. K. Wong, A. Oldershaw // Journal of Sediment. Pet. – 1981. – V. 51. – P. 507-520.
4. Bruna P.O. Are stylolites fluid-flow efficient features? [Text] / P. O. Bruna, A. P. Lavenue, C. Matonti, G. Bertotti // Journal of Struct. Geol. – 2019. – V. 125. – P. 270-277.
5. Gomez-Rivas, E. Stylolites and stylolite networks as primary controls on the geometry and distribution of carbonate diagenetic alterations [Text] / E. Gomez-Rivas, J. D. Martín-Martín, P. D. Bons, D. Koehn, A. Griera, A. Travé, M. G. Llorens, E. Humphrey, J. Neilson // Journal of Mar. Pet. Geol. – 2022. – V. 136. – P. 105444.
6. Koehn D.A new stylolite classification scheme to estimate compaction and local permeability variations. [Text] / D. Koehn, M.P. Rood, N. Beaudoin, P. Chung, P.D. Bons, E. Gomez-Rivas // Journal of Sediment. Geol. – 2016. – V. 346. – P. 60-71.

МЕТАЛЛООРГАНИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ ЗОЛОТА В АТОМАРНО-МОЛЕКУЛЯРНОЙ СТРУКТУРЕ ФИТОЛЕЙМ И ГЕРБАРИЕВ РАСТЕНИЙ

Пахтаева М.Г.

Научные руководители профессор В.П. Иванов, доцент И.В. Рычкова

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

В настоящее время ИК-спектрометрическое изучение металлоорганических соединений в углефицированных и углеродистых веществах практически отсутствует. Для оценки качества углей и химического состава их золы используются регрессионные уравнения, для горных пород применяются справочные таблицы, для других веществ биогеохимического происхождения этого недостаточно. Часто сложно сопоставить результаты изучения атомарно-молекулярной структуры перечисленных веществ, а уж тем более сравнить их между собой в части определения форм связей металлоорганических соединений.

Идея статьи заключается в изучении элементоорганических соединений (ЭОС) в виде функциональных структурных единиц (ФСЕ) и металлоорганических соединений (МОС) в фитолеймах и в гербариях современных растений, из которых состоит их структура, учитывая, что под фитолеймами [2] понимаются углефицированные остатки растений. Задачей исследования является выделение особенностей представителей флоры разных эпох на основе количества форм связей структурообразующих элементов: C–O, N–H, C–H, C–N, N–O, C–C (органической части) и микроэлементов в виде золота и его соединений.

Для изучения была использована методология СКАУФВ (структурно-кластерный анализ углефицированных веществ) [1] для ИК-спектров диффузного отражения в диапазоне 7500–350 см⁻¹, получаемых на спектрометре «SHIMADZU» IRAffinity-1 с Фурье преобразованием и приставки DRS-8010ASC для порошков. Обработка спектра углефицированных и углеродистых веществ [3] программой ASPECT позволяет осуществлять структурно-групповой анализ (СГА) и структурно-кластерный анализ металлоорганических соединений (СКАМОС).

ИК-спектроскопия широко применяется для изучения горных пород и углей, однако исследования органических сланцев, растительных остатков (фитолейм и гербариев) и керогенов (рассеянных и концентрированных) весьма ограничены. Тем не менее, известный спектроскопист [4] полагал, что инфракрасная спектроскопия – это важный метод для идентификации органических соединений, позволяющий изучать транспорт биологически активных веществ в живой ткани, как один из путей познания строения клетки.

В качестве фактического материала были выбраны гербарии и фитолеймы низших (водорослей и мхов) и высших (споровых папоротников, хвощовых) растений. Фитолеймы отбирались точно из ядерных проб и обогащений с выделением углистого вещества методом препарирования.

Современные растения были собраны в сухую погоду и высушены. Далее все образцы претерпели истирание до крупности 0,2 мм и исследованы в порошках. В таблице представлена идентификация форм связей золота по полосам ИК-спектров.

Таблица

Идентификация форм связей золота по полосам ИК-спектров водорослей и мхов

Название соединений	Формула	Форма связи	Полосы спектра, см ⁻¹	Водоросли	Мхи
Изотиоцианаты	[(CH ₃) ₂ Au(NCS) ₂]	Au-CN	2163	4,3	1,3
		Au-CS	775		
Метильные мостики	[(CH ₃) ₂ AuX ₂]	Au-CNS	571	31,1	38,4
		Au-N	561		
Метилгалогениды	[(CH ₃) ₂ AuCl ₂]	Au-CH ₃	550	20,1	27,5
		Au-Cl	545		
Псевдогалогениды связи цис-	K[Au(-SCN) ₄]	Au-SCN	2130	17,5	27,7
			1088		
Псевдогалогениды связи транс-		Au-NCS	700	13,3	5,2
			458		
			413		
Наночастицы	v(AuN)	Au-Au	444	13,8	0,0
			430		

Сравнение через формы связи золота и его соединений в виде МОС водорослей и мхов произведено с целью влияния эволюции исходного растительного материала. При пересчёте на «чистый» азот по СГА установлено, что структуры сопоставляемых образцов по азоту близки: в водорослях 33,1, когда во мхах значение составляет 33,7. По СКАМОС во мхах золото в основном присутствует в виде метильных мостиков, метилгалогенидов и псевдогалогенидных валентных форм. Водоросли отмечаются большими значениями изотиоцианатных, псевдогалогенидных деформационных форм, а также золота в виде наночастиц, по сравнению со мхами (табл.).

Изучая современные водоросли Чёрного и Каспийского морей, удалось выяснить влияние морской среды на накопление золота. Выявлено [5], что количество форм связей золота в виде изотиоцианатных, псевдо- и метилгалогенидных форм, включая метильные мостики, в Каспийском море минимум в 2 раза превышают значения Чёрного. Также в Чёрном море можно отметить соединения в виде наночастиц (рис. 1).

Форма связи vCS на полосе 775 см⁻¹ изотиоцианатных форм в пробе водорослей Чёрного моря отсутствует, когда в пробе Каспийского моря можно наблюдать как vCN, так и vCS связи.

Это объясняется незначительной циркуляцией воды в Чёрном море и влиянием сноса биогенного материала с суши речными потоками.

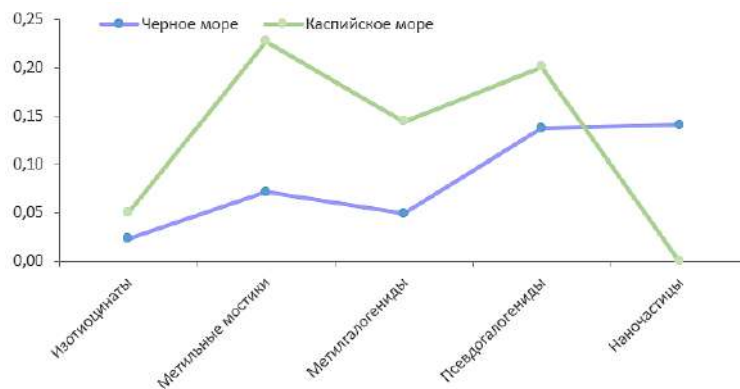


Рис. 1. Сравнение водородных соотношений по МОС Чёрного и Каспийского морей

Подобные исследования были проведены в фитолеймах хвощей и папоротников юрского возраста, отобранных из скважин Снежная и Майская Томской области для оценки распределения форм связей золота. На основании показателей СГА и СКАМОС установлено, что хвощи по отношению к папоротникам более чувствительны к накоплению металлов, следовательно, это можно использовать в качестве диагностического признака при геологической корреляции осадочных отложений (рис. 2).

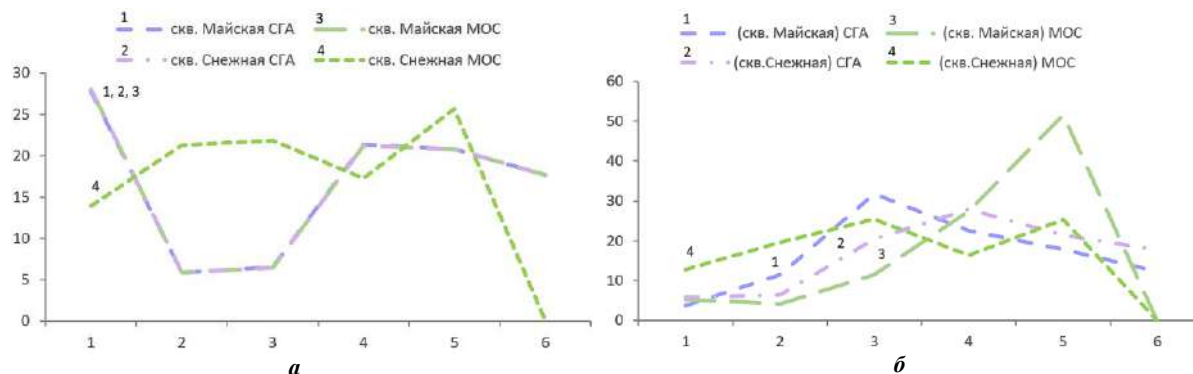


Рис. 2. Графическое изображение структур папоротника (а) и хвоща (б) по функциональным структурным единицам на основе СКАМОС и СГА. Условные обозначения: 1 – C–O и Au–CN/Au–CS; 2 – Au–SCN и N–H; 3 – Au–NCS и C–H; 4 – Au–CH₃/Au–Cl и C–N; 5 – Au–CNS/Au–N и C–C; 6 – Au–Au и N–O

Таким образом, применение методологии СКАУФВ в виде анализов СГА и СКАМОС позволяет сравнивать структуры фитолейм и современных растений по формам связей элементов C, N, O, H и Au, которые активно участвуют в строении органического материала растений и сохраняются в его структуре при обугливаниях. Подход предоставил возможность оценить влияние исходного растительного материала через формы связи золота и его соединений. Получаемые результаты вполне применимы для исследования стратиграфии, геологической корреляции осадочных отложений и концентрирования в них металлов в виде МОС.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ №23-27-00013.

Литература

1. Иванов В.П. Определение типов связей кремния с функциональными группами в структурах органических веществ растительного происхождения с помощью метода диффузного отражения инфракрасной спектроскопии [Текст] / В. П. Иванов, А. А. Дмитриенко // Изв. Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2022. – Т. 333. – №8. – С. 36-45.
2. Криштофович А.Н. Палеоботаника [Текст] / А.Н. Криштофович. – Л.: Государственное научно-техническое издательство нефтяной и горно-топливной литературы, Ленинградское отделение. – 1957. – 649 с.
3. Иванов В.П. Особенности определения металлоорганических соединений в углеродистых веществах черносланцевых отложений с применением ИК-спектроскопии диффузного отражения [Текст] / В.П. Иванов, Т.В. Тимкин, Д.А. Болдина, М.Г. Пахтаева // Изв. Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2024. – Т. 335. – №2. – С. 141-156.
4. Смит А. Прикладная ИК-спектроскопия [Текст] / А. Смит. – М.: Мир, 1982. – 328 с.
5. Nakamoto K. Infrared and Raman spectra of inorganic and coordination compounds, part B: applications in coordination, organometallic, and bioinorganic chemistry [Text] / K. Nakamoto. – John Wiley & Sons, 2009. – 30 p.

ЭНДЕМИЧНЫЙ СРЕДНЕ-ВЕРХНЕЮРСКИЙ ПАПОРОТНИК ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Рахимбердина А.О.

Научный руководитель доцент И.В. Рычкова

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

На юго-востоке Западной Сибири широко распространены средне-верхнеюрские континентальные отложения, которые часто являются нефтегазоносными. Поэтому, при изучении данных отложений наиболее важными вопросами являются стратиграфическое расчленение и проведение палеогеографических реконструкций. Отложения данного возраста представлены наунакской (васюганской) свитами [4].

В ходе изучения палеоботанических остатков была проведена ревизия всего имеющегося в распоряжении кернового материала, а также сделан анализ литературных данных [2].

В отложениях наунакской (васюганской) свит часто встречаются отпечатки растений, среди которых есть эндемики, например, такие как папоротник *Coniopteris latilobus* Bistritskaja. Была собрана представительная коллекция папоротников этого вида. *Coniopteris latilobus* встретился больше чем в 50 скважинах.

Впервые *Coniopteris latilobus* Bistritskaja описала Л.И. Быстрицкая в 1992 г. из отложений васюганского горизонта Западной Сибири по керну скважины № 6 Игольской площади в Томской области [1]. *Coniopteris latilobus* Bistritskaja обладает такими отличительными особенностями, как сложноперистыми, мелкими, короткими, широкотреугольными и узколинейными перышками. У верхушки перья тесно прижаты, лопастной край неравнозубчатый. Перышки близко располагаются, периодически соприкасаясь, при этом они не пересекаются. Основание перьев заужено. Жилкование сфеноптеридное: жилки дихотомирующие и оканчиваются в зубчиках перьев (рис.).

Папоротники *Coniopteris latilobus* Bistritskaja встречаются с отпечатками других растений: папоротниками *Coniopteris hymenophylloides* и *Coniopteris simplex*, гинкговыми, чекановскими *Czekanowskia tomskensis*, хвощовыми *Equisetites* sp., хвойными *Podozamites* sp. и др. [3].

Распространение папоротника *Coniopteris latilobus* приурочено к юго-востоку Западной Сибири. Нами папоротник был обнаружен в скважинах на следующих площадях: Останинская, Казанская, Боровая, Болтная, Майская, Южно-Майская, Снежная. Эндемичность папоротника обусловлена специфической палеогеографической обстановкой на юго-востоке Западной Сибири в конце средней и начале поздней юры, благоприятной для произрастания этих растений.

Таким образом, эндемичный папоротник *Coniopteris latilobus*, который встречается преимущественно в наунакской (васюганской) свитах обладает большим стратиграфическим и палеогеографическим потенциалом.

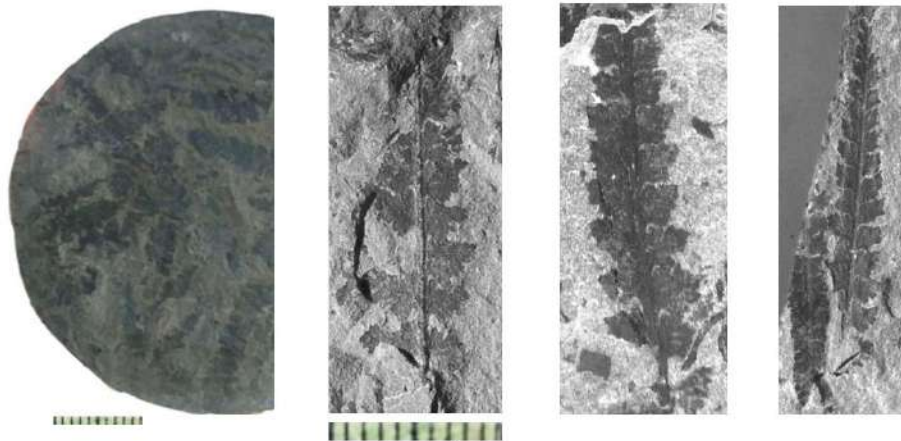


Рис. *Coniopteris latilobus* Bistritskaja

Литература

1. Быстрицкая Л.И. Новые виды растений из юрских отложений Западно-Сибирской равнины (Томская область). [Текст] / Л.И. Быстрицкая. // Материалы по палеонтологии и стратиграфии Западной Сибири. – Томск: Изд-во Томского государственного университета, 1992. – С. 58-60.
2. Киричкова А.И. Фитостратиграфия и флора юрских отложений Западной Сибири / А.И. Киричкова, Е.И. Костина, Л.И. Быстрицкая. – СПб.: Недра, 2005. – С. 378.
3. Рычкова И.В. Палеоботанические особенности тюменской и наунакской свит (средняя-верхняя юра юго-востока Западной Сибири) [Текст] / И.В. Рычкова, М.И. Шамина // Изв. Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2018. – Т. 329. – № 5. – С. 15-26.
4. Решения 6-го Межведомственного стратиграфического совещания по рассмотрению и принятию уточненных стратиграфических схем мезозойских отложений Западной Сибири [Текст]: Объяснит. записка Новосибирск, 2004. – 114 с.

**БИТУМИНОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МОНОМСКОЙ СВИТЫ
(ВИЛЮЙСКАЯ ГЕМИСИНЕКЛИЗА)**

Резникова М.С.

Научный руководитель ведущий научный сотрудник О.О. Абросимова
*Новосибирский филиал ФГБУ Всероссийский научно-исследовательский геологический
нефтяной институт, г. Новосибирск, Россия*

Мономская свита нижнетриасового возраста широко распространена на территории Вилюйской гемисинеклизы и в отдельных ее районах достигает мощности до 322 м. Мономская свита представлена толщей пестроцветных аргиллитов и алевролитов с прослоями мелкозернистых песчаников [3]. Формирование отложений связано с обширной морской трансгрессией, произошедшей в раннем-начале позднего оленёка [5].

Данная работа посвящена анализу геохимических параметров мономской свиты.

На первом этапе исследования были собраны и систематизированы данные анализов из дел скважин и отчетов по бурению. Всего было отобрано 226 результатов люминесцентно-битуминологического анализа (ЛБА) по образцам из 37 скважин, расположенных в различных зонах Вилюйской гемисинеклизы.

Содержание хлороформенного битума ($B_{\text{хл}}$) изменяется в пределах 0,001–0,5 %. В центральной части гемисинеклизы в скв. Среднетюнгская-227 содержание $B_{\text{хл}}$ достигает 0,5 %, в скв. Толонская-13 $B_{\text{хл}}$ составляет 0,2 %, в скв. Средневилюйская-4 $B_{\text{хл}}$ – 0,3 %, а в скважинах, которые находятся на бортах, следующие значения: в скв. Хайлахская-1213 $B_{\text{хл}}$ = 0,007 %, в скв. Нижнетюнгская-313 $B_{\text{хл}}$ = 0,001 %, в скв. Нижневилюйская-5 $B_{\text{хл}}$ = 0,004 %. Образцов, где было определено содержание органического углерода ($C_{\text{орг}}$), имеется 10 единиц.

Далее был рассчитан битумоидный коэффициент (коэффициент β). Для аллохтонных битумоидов коэффициент $\beta > 5$ %, соответственно для автохтонных коэффициент $\beta < 5$ % [1]. Полученная зависимость β от концентрации $C_{\text{орг}}$ показала, что половина исследованных образцов мономской свиты обладает сингенетичной природой органического вещества с $\beta \leq 5\%$, в то время как другая половина образцов имеет значения β от 10 до 30 % (аллохтонный битумоид).

Можно сделать следующий вывод: из-за такого небольшого количества данных невозможно однозначно судить, какой вклад вносит мономская свита в углеводородный потенциал или все залежи углеводородов имеют полностью верхнепермский генезис [4], а мономская свита представляет собой в значительно большей степени хороший флюидоупор, чем нефтематеринская толща.

На втором этапе работы в связи с малым количеством образцов с замеренным $C_{\text{орг}}$ был рассмотрен вопрос о возможности использовать взаимосвязи его величин с данными гамма-каротажа (ГК). Пономаревой Е.В. в работе [6] были представлены диаграммы с зависимостью $C_{\text{орг}}$ от ГК. Указан важный аспект, что линейная связь « $C_{\text{орг}}$ – радиоактивность пород» имеет место при концентрации в породе $C_{\text{орг}} > 5$ %.

В работе сделан анализ 11 эталонных скважин, где содержание $C_{\text{орг}} > 5\%$ находится в диапазоне значений ГК от 12,6 до 33 мкР/ч. Были отобраны каротажные диаграммы по 65 скважинам, расположенным в разных районах Вилюйской гемисинеклизы. Анализ показал, что только в двух скважинах значения гамма-каротажа превышают пороговое значение 12,6 мкР/ч (скв. Бадаранская-4 на глубине 2934 м значения ГК равны 12,606 мкР/ч, в скв. Северо-Линеднская-4 на глубине 1841 м значения ГК равны 12,6632 мкР/ч), который отвечает содержанию $C_{\text{орг}} > 5$ %. Можно сделать вывод, что применение зависимости $C_{\text{орг}}$ от ГК в данном случае не работает. На данном основании можно сделать вывод о том, что в подавляющем большинстве глинистые разности мономской свиты имеют содержание $C_{\text{орг}} < 5$ %.

На третьем этапе проведено сопоставление генерационного потенциала мономской и иниканской свит. Иниканская свита распространена в юго-восточной части Сибирской платформы (Алдано-Майская НГО). Наиболее изучен разрез, вскрытый скважиной Усть-Майская-366 [2]. Отложения иниканской свиты представлены аргиллитами темно-серыми до черных с коричневатым и буроватым оттенком, битуминозными, прослоями и участками – сапропелевыми, известковистыми, доломитистыми, кремнистыми, алевролитистыми, грубоплитчатыми, разуплотненными, с зеркалами скольжения, трещиноватыми.

Породы иниканской свиты, наиболее обогащенные $C_{\text{орг}}$ (во вскрытом скважиной разрезе), содержание которого изменяется от 1,25 % до 12,7–13,25 %, составляя в среднем весовые 3,2–5,0 %. Содержание $B_{\text{хл}}$ составляет от 0,033 до 0,176 %, при невысоких значениях β , меняющихся от 2,6 до 6,2 %. Построена зависимость $C_{\text{орг}}$ от $B_{\text{хл}}$, на которой показана классификация генерационного потенциала (рис.). Можно заметить, в скв. Усть-Майская-366 в отложениях иниканской свиты отмечаются высокие концентрации $B_{\text{хл}}$ и содержание $C_{\text{орг}}$, что не скажешь о разрезах скважин мономской свиты Вилюйской НГО, которые характеризуются низким содержанием данных компонентов и соответственно низким генерационным потенциалом. Кремнисто-доломитистые породы иниканской свиты являются потенциально нефтегазоматеринскими породами с высоким УВ потенциалом.

Проанализировав геохимические параметры мономской свиты, можно сделать следующий вывод: по низкому содержанию β и $C_{\text{орг}}$ мономская свита находится в окне «бедного» генерационного потенциала. В связи с этим, мономская свита прежде всего является надежным флюидоупором.

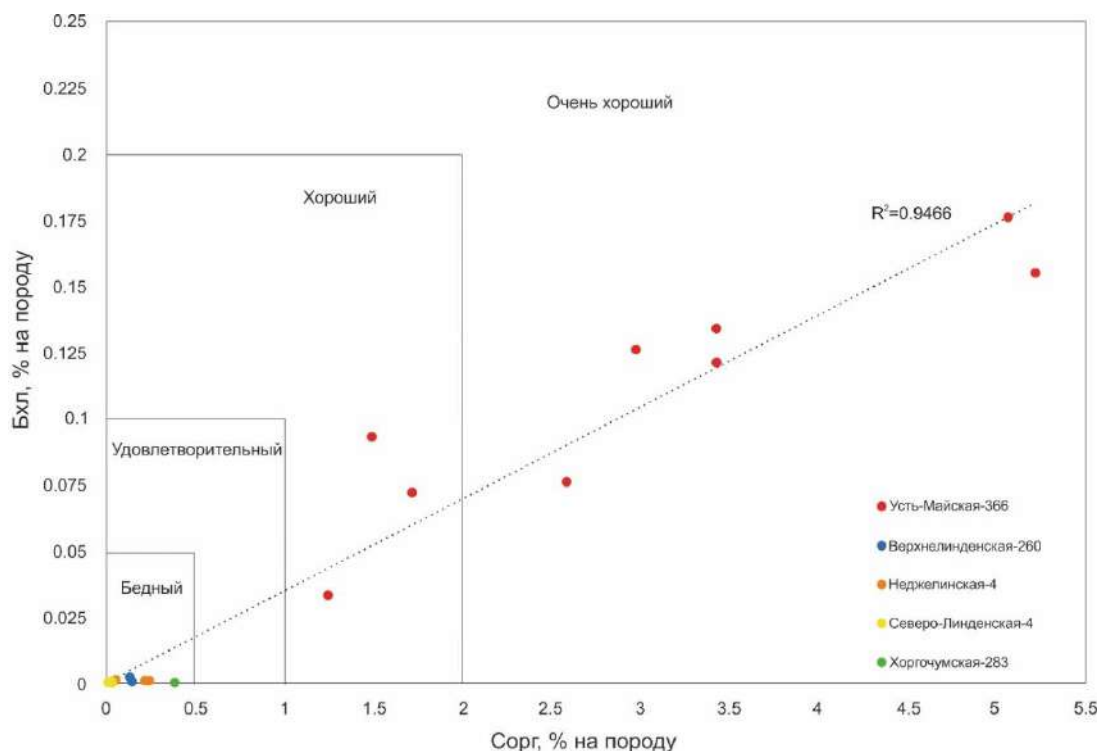


Рис. Зависимость концентраций Бхл от Сорб с классификацией генерационного потенциала пород в отложениях мономской (месторождения Вилюйской гемисинеклизы) и иниканской (скав. Усть-Майская-366) свит

Литература

1. Вышемирский В.С. Миграция рассеянных битумоидов. [Текст] / В.С. Вышемирский, А.Э. Конторович, А.А. Трофимук // Труды Института геологии и геофизики. – Вып. 143. – Новосибирск: Наука, 1971. – 168 с.
2. Горлов Д.А. Прогноз зон раздельного нефтегазоаккумуляции в отложениях куонамской и иниканской свит нижнего-среднего кембрия Восточной Сибири [Текст] / Д.А. Горлов С.П. Левшунова // Геология нефти и газа. – 2022. – № 2. – С. 67-77.
3. Девятков В.П. Стратиграфия триасовых отложений Верхоянской фациальной области (Центральная Якутия) [Текст] / В.П. Девятков, А.М. Трущелев, В.С. Гриненко // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2012. – № 2 (10). – С. 24-37.
4. Конторович А.Э. Геология нефти и газа: Избранные труды. Т. II. Геохимия. Теория образования нефти и газа [Текст] / А.Э. Конторович. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 2008. – 593 с.
5. Особенности строения, осадочные комплексы и углеводородные системы Лено-Вилюйского нефтегазоносного бассейна [Текст] / С.В. Фролов, Е.Е. Карньюшина, Н. И Коробова и др. // Георесурсы. науч.-техн. журнал. – 2019. – Т. 21. – № 2. – С. 13-30.
6. Пономарева Е.В. Геохимия органического углерода в баженском горизонте Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна [Текст]: дис. ... канд. геол.-мин. Наук / Пономарева Елена Владимировна. – Новосибирск, 2021. – 212 с.

СЕЙСМОСТРАТИГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОСАДОЧНОГО ЧЕХЛА ЮЖНЫХ РАЙОНОВ ЛЕНСКОЙ ВЕТВИ ПРЕДВЕРХОЯНСКОГО ПРОГИБА

Терещенко А.Е.^{1, 2}

Научный руководитель Л.Ф. Найденков¹

¹Новосибирский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения
Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт,
г. Новосибирск, Россия

²Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск, Россия

Предверхоаянский прогиб расположен на востоке Сибирской платформы и является перспективной структурой для поиска углеводородов. В нефтегазоносном отношении прогиб приурочен к Предверхоаянской нефтегазоносной области Лено-Вилюйской нефтегазоносной провинции.

Ленская ветвь прогиба прослеживается в меридиональном направлении от приустьевой части реки Лена до впадения в реку Вилюй на юге [1]. Территория исследования охватывает южные районы ветви и включает в себя Соболюх-Маянский, Ундюлюнский и Восточно-Линденский участки геологоразведочных работ (рис.).



Рис. Сейсморазведочные работы, проведенные в пределах исследуемой территории

Изучение территории сейсморазведочными работами было начато в 1950-е гг. и продолжалось до 1980 гг., после чего последовал длительный перерыв. Лишь в последние десятилетия исследования были возобновлены в рамках государственного задания Федерального государственного бюджетного учреждения Всероссийского научно-исследовательского геологического нефтяного института.

Осадочный чехол представлен верхнепалеозойскими-мезозойскими отложениями с возможным развитием более древних образований на юге территории, где согласно данным сейсморазведки мощность осадочного чехла значительно увеличивается.

В результате анализа современных сейсморазведочных данных (2014–2016, 2022–2024 гг.) были выделены 10 отражающих горизонтов, большинство из которых уверенно прослеживается на территории исследования. После выполнения корреляции отражающих горизонтов осадочный чехол был разделен на сейсмокомплексы.

Сейсмокомплекс является главной сеймостратиграфической единицей стратиграфической специализации, объединяющей разрез осадочного чехла с возрастным интервалом в десятки миллионов лет и мощностью в сотни метров. В каждом сейсмокомплексе чаще всего доминируют породы определенного литологического состава. Кровлю и подошву сейсмокомплекса обычно ограничивают поверхности несогласий, к которым приурочены динамически выраженные отражающие горизонты [2].

В результате работы с сейсмическими материалами на площади было выделено пять крупных седиментационных сейсмокомплексов: пермский, нижнетриасовый, средне-верхнетриасовый, нижнесреднеюрский и верхнеюрский-меловой. В каждом сейсмокомплексе установлены следующие особенности залегания: 1) пермский – налегание и прилегание в подошве и согласное в кровле комплекса; 2) нижнетриасовый, средне-верхнетриасовый, нижнесреднеюрский – согласие в кровлях и подошвах; 3) верхнеюрский-меловой – с подошвенным согласием в основании и нечетким кровельным прилеганием вверх.

Пермский сейсмокомплекс на сейсмических разрезах контролируется отражающими горизонтами F – в подошве и P – в кровле. Отражающий горизонт F формируется на кровле кристаллического фундамента, прослеживается по положительной фазе и отделяет упорядоченные отражения от хаотической формы записи, связанной с архей-протерозойскими породами.

Отражающий горизонт P, приуроченный к кровле верхнепермских отложений, прослеживается по высокоамплитудной фазе и особенно ярко выражен на разрезах Соболюх-Маянского участка. В целом сейсмокомплекс характеризуется преимущественно бугристо-волнистым и волнистым рисунками записи.

На разрезах Восточно-Линденского участка (юг исследуемой территории) наблюдается значительное увеличение мощности осадочного чехла, что может быть связано с развитием более древних палеозойских отложений. Также на разрезах в интервале нерасчлененных отложений прослеживаются контрастные отражения, которые можно интерпретировать как сейсмические границы.

Нижнетриасовый сейсмокомплекс ограничен отражающими горизонтами Р в подошве и Т1 в кровле. Отражающий горизонт Т1 особенно ярко выражен на разрезах Восточно-Линденского участка. Рисунок сейсмической записи – волнистый до субпараллельного.

Средне-верхнетриасовый сейсмокомплекс контролируется отражающими горизонтами Т1 в подошве и Т в кровле. В целом сейсмокомплекс характеризуется волнистым рисунком и пониженными амплитудами относительно ранее рассмотренных комплексов. В северной части исследуемой территории данный сейсмокомплекс выклинивается, что прослеживается на сейсмических разрезах и в скважине Приленская-1.

Нижнесреднеюрский сейсмокомплекс ограничен отражающими горизонтами Т и J2 в подошве и кровле соответственно. Отражающий горизонт J2, приуроченный к кровле среднеюрских отложений, характеризуется пониженными относительно описанных ранее горизонтов амплитудами. В целом сейсмокомплекс представлен субпараллельным рисунком сейсмической записи.

Верхнеюрский-меловой сейсмокомплекс контролируется в подошве отражающим горизонтом J2, а в кровле ограничен дневной поверхностью.

Сейсмокомплекс характеризуется субпараллельным до хаотичного рисунком сейсмической записи и представлен терригенными отложениями континентального генезиса.

Также следует сказать об общих закономерностях, наблюдаемых на сейсмических разрезах: по направлению в сторону Сибирской платформы прослеживается увеличение амплитуд сейсмической записи и уменьшение мощностей всех выделенных сейсмокомплексов.

Таким образом, в результате проведенных геофизических исследований в осадочном чехле юга Ленской ветви Предверхоянского прогиба выделено 5 сейсмических комплексов: пермский, нижнетриасовый, средне-верхнетриасовый, нижнесреднеюрский, верхнеюрский-меловой.

Литература

1. Найденов Л.Ф. Перспективы нефтегазоносности осадочного чехла и прогноз ловушек углеводородов в северных и центральных районах Предверхоянского краевого прогиба [Текст] / Л.Ф. Найденов // Геология нефти и газа. – М., 2021. – №6. – С. 25-36
2. Шлезингер А.Е. Региональная сейсмостратиграфия [Текст] / А. Е. Шлезингер – М.: Научный мир, 1998. – 144 с.

ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКИЕ И ЛИТОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЮРСКО-МЕЛОВЫХ НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ТАЗОВСКОГО РАЙОНА ЯНАО

Усова И.И.¹, Жукова В.В.²

Научный руководитель доцент М.И. Шамина

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

²СахалинНИПИ нефти и газа, г. Томск, Россия

В связи с истощением основных запасов высокопродуктивных месторождений акцент геологических исследований смещается в сторону изучения залежей, характеризующихся высокой степенью геологической неоднородности, необходимо применение комплексного подхода к изучению потенциальных пластов-коллекторов. В работе представлены результаты исследования нефтегазоносных отложений, приуроченных к Тазовскому фациальному району, Надым-Тазовской синеклизе Западной Сибири.

Рассмотрен разрез юрско-меловых отложений, вскрытый несколькими скважинами в пределах Тазовского мегабассейна. Выделяются следующие пласты: Ю₁₀ (глубина 4229–4244 м), Ю₈ (4081–4131 м), Ю₇ (4061–4078 м) – котухтинской свиты; Ю₂² (3664–3670 м), Ю₂¹ (3623,7–3661 м) – тюменской свиты; СГ₇ (3498–3510 м), СГ₅ (3434–3442) – сиговской свиты; Б (3440–3450 м) – юрацкой свиты; БТ₁₄ (3293–3304 м), БТ₁₂^{1Б} (3015–3032 м), БТ₁₂^{1А} (3010–3014 м) – малохетской свиты; ПК₁₁ (1668–1689 м), ПК₇ (1521–1558 м) – покурской свиты.

Интерпретация результатов исследований проведена авторами с использованием методик, описанных в работах Маслова [2] и Склярова [1], фациальная интерпретация проведена на основе работ Тугаровой [4], Черновой [5], Редина [3].

При проведении литологического изучения выделены литотипы: пластам котухтинской свиты (Ю₁₀, Ю₈, Ю₇) соответствует *литотип №1*: мелко-среднезернистые песчаники с однородной, параллельно-, волнисто-слоистой текстурой, на плоскостях напластования наблюдаются скопления углито-растительного детрита (рис. 1, а).

Литотип №2 встречается в отложениях тюменской (пласты Ю₂¹ и Ю₂²) и сиговской (пласт СГ₇) свит, характеризуется переслаиванием терригенных пород, волнисто-, косослойчатыми, а также рябиковыми текстурами (рис. 1, б), подчеркнутыми значительным количеством углефицированного растительного детрита, слоистость нарушена текстурами размыва и оползания, отмечается глауконит. *Литотип №3* выделен в отложениях сиговской (пласт СГ₅), юрацкой (пласт Б), малохетской (пласт БТ₁₄) свит. Сложен аргиллитами и мелкозернистыми алевролитами с пологослойчатыми и рябиковыми текстурами (рис. 1, в). *Литотип №4* соответствует пластам БТ₁₂^{1-1А}, БТ₁₂^{1-Б}, представлен преимущественно мелко-, среднезернистыми песчаниками, алевролитами с однородными, субпараллельно-слоистыми, реже линзовидно- и косослойчатыми текстурами (рис. 1, г).

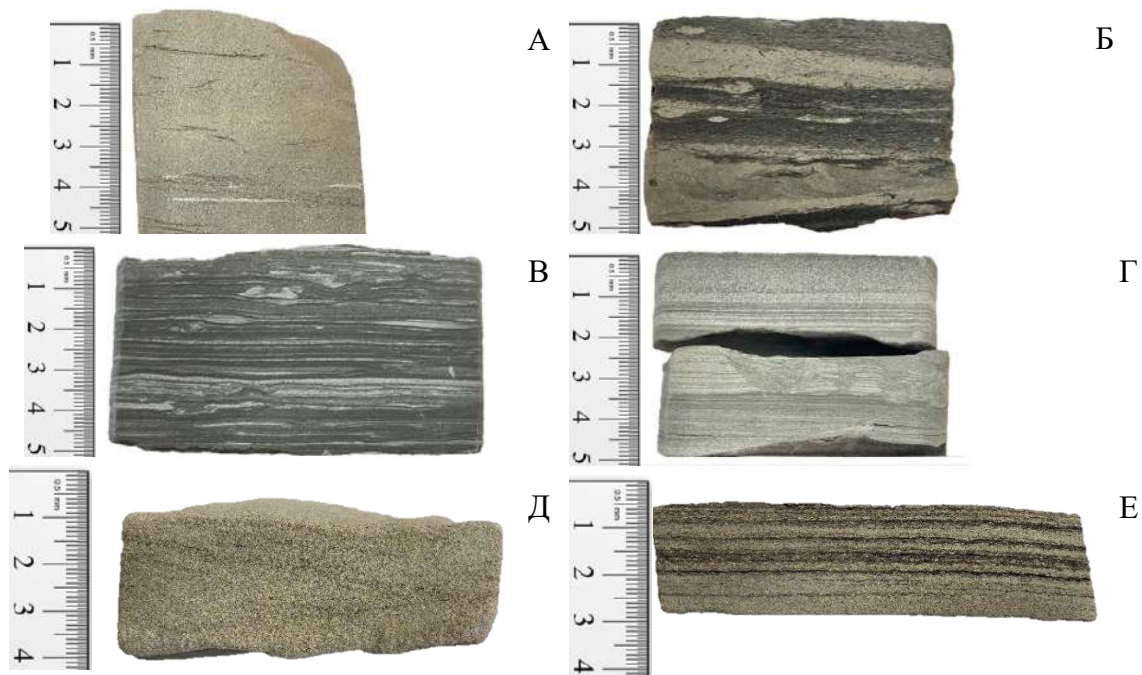


Рис. 1. А – Песчаник светло-серый мелкозернистый карбонатизированный кварц-полевошпатовый с кремнисто-глинистым цементом (пласт Ю₇), Б – Переслаивание аргиллита (50 %) темно-серого, однородного и алевролита (50%) серого мелкозернистого (пласт СГ₇), В – Алевролит темно-серый мелкозернистый с тонкими горизонтально-линзовидными прерывистыми слоями серого мелкозернистого песчаника (пласт БТ₁₄), Г – Переслаивание серого мелкозернистого алевролита (35 %), серого среднезернистого песчаника (25 %), светло-серого тонкозернистого песчаника (20 %), темно-серого аргиллита (10 %) (пласт БТ₁₂¹⁵), Д – Песчаник светло-серый средне-крупнозернистый с косослойчатой текстурой (пласт ПК₁₁), Е – Переслаивание песчаника светло-серого среднезернистого и аргиллита черного углистого, текстура субгоризонтально-слоистая (пласт ПК₇)

В разрезе покурской свиты выделены два литотипа, граница которых соответствует выделенным интервалам пластов. *Литотип №5*: породы пласта ПК₁₁ преимущественно представлены песчаниками мелко-, среднезернистыми с кремнисто-глинистым и карбонатным цементом. В кровле пласта отмечаются алевролиты, включения углистого детрита. Для пород характерны субгоризонтально-слоистые микротекстуры. *Литотип №6*: в составе пласта ПК₇ отмечается переслаивание песчаников мелко- и среднезернистых, с кремнисто-глинистым цементом, алевролитов и аргиллитов. Для пород характерны субпараллельно-слоистые, косослойчатые микротекстуры, нарушенные следами биотурбации, взмучиванием. В разрезе отмечаются глауконит, сидеритовые образования.

Генетическая интерпретация статистических характеристик распределения зерен в породах псаммитовой размерности диагностирует формирование юрских отложений в прибрежно-морских условиях. Для пород пласта ПК₁₁ характерны континентальные условия осадконакопления, сменяющиеся прибрежно-морской фацией в вышележащих пластах ПК₇.

По результатам интерпретации литохимических модулей, геохимических индикаторов, а также распределения РЗЭ, нормированных по средним содержаниям РЗЭ постархейской австралийской осадочной породы (РААС), юрские отложения относятся к типу сиаалиты и сиферлиты, осадки накапливались в прибрежно-морских условиях. По отношению Fe/Mn фациальные обстановки отложений котухтинской, тюменской, сиговской свит постепенно переходят от глубоководных к мелководно-прибрежным, отложения юрацкой и малохетской свит формировались в мелководных условиях. Пласт ПК₁₁, выделяемый в пределах покурской свиты, был сформирован в областях постоянного перемыва, в континентальных условиях – застойных фациальных обстановках умеренного климата. Выше по разрезу (пласт ПК₇) отмечается переход от пресноводных отложений к морским. Для общего разреза характерна единая седиментационная окраинно-континентальная (шельфовая) обстановка.

Согласно результатам литолого-фациального анализа, исследуемые отложения образовались в сложных полифациальных условиях, характерных для прибрежно-морских обстановок. Их формирование протекало под влиянием волновых и приливно-отливных процессов, которые определяли перенос и аккумуляцию осадочного материала. Разрез юрских отложений фиксирует постепенное колебательное наступление моря.

Котухтинская свита, накапливающаяся в позднеотарско-раннеааленское время в условиях равнины, временами заливавшейся морем, характеризуется чередованием фаций полуизолированного побережья заливов и лагун, подвижного мелководья, проточных и слабопроточных зарастающих озёр. Отложения *тюменской свиты*, формирующиеся в байосский век, представлены чередованием фаций подвижного озерного мелководья, полуизолированного мелководья заливов и лагун, приливно-отливных зон, проточных участков зарастающих озёр, сильно подвижного мелководья. В разрезе свиты фиксируются кратковременные колебания уровня моря и связанные с этим трансгрессивные, регрессивные процессы. Формирование пород *сиговской свиты* (оксфордского,

кимериджского века) свидетельствует о расширении области морского осадконакопления в результате обширной трансгрессии в поздней юре, накапливаются в условиях открытого бассейна. Активизация тектоники в меловом периоде, увеличила долю механического выветривания. Снос осадков с прилегающих северо-западных обрамлений Сибирской платформы способствовал активной аккумуляции терригенных толщ. Образование отложения *юрацкой свиты* протекало в зоне заливов и лагун мелководного бассейна. Накопление осадков *малохетской свиты* протекало в регрессивный период, в образованных в результате обмеления моря водоемах на территории аккумулятивной равнины. В апт-альб-сеноманское время при накоплении отложений *покурской свиты* отмечается периодическое наступление моря и затопление прибрежных областей. Нижележащие пласты свиты формировались в условиях речных меандровых систем: накапливаются аккумулятивные формы – меандровые косы, прирусловые валы, врезанные во вмещающие пойменные отложения. Верхняя часть разреза покурской свиты формировалась в переходных условиях: песчаники распределительных каналов дельты речного типа закономерно сменяются тонкогоризонтальнослоистыми осадками междельтовых заливов. Продолжавшееся наступление моря с активным континентальным сносом способствовало накоплению аккумулятивных форм во фронте дельты – образовывались отмели, переходящие в устьевые бары.

Изученный разрез юрско-меловых отложений характеризуется чередованием континентальных, прибрежно-морских, морских отложений, отлагающихся в условиях пульсирующей трансгрессии, регрессивно-трансгрессивных циклов. Условия осадконакопления напрямую влияют на сложность строений коллекторов углеводородов, обуславливая их цикличное и полифациальное строение.

Литература

1. Интерпретация геохимических данных [Текст] / Е.В. Складов, Д.П. Гладкоуб, Т.В. Донская и др.; науч. ред. Е.В. Складов – М.: Интермет инжиниринг, 2001. – 287 с.
2. Маслов А.В. Осадочные породы: методы изучения и интерпретации полученных данных [Текст]: учебное пособие. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2005. – 289 с.
3. Обстановки осадконакопления и фации [Текст] / Х.Г. Реддинг, Дж.Д. Коллинсон, Ф.А. Аллен и др.; пер. с английского языка под ред. П.П. Тимофеева. – М.: Мир, 1990. – 362 с.
4. Тугарова М.А. Атлас типовых фаций [Текст] / М.А. Тугарова, Е.А. Жуковская; науч. ред. Б.В. Белозеров. – М.–Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2019. – 142 с.
5. Чернова О.С. Литолого-фациальный и формационный анализ нефтегазоносных толщ [Текст]: учебное пособие по короткому курсу / О. С. Чернова. – Томск: Изд-во ЦППС НД, 2007. – 250 с.

ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ РАКОВИН БЕНТОСНЫХ ФОРАМИНИФЕР КОЛОНКИ LV92-49 (ОХОТСКОЕ МОРЕ, РАЙОН ОСТРОВА ПАРАМУШИР)

Утюпин Л.О.

Научный руководитель старший научный сотрудник А.В. Романова
Дальневосточный геологический институт Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Владивосток, Россия

Охотоморский осадочный бассейн содержит в себе крупные залежи газогидратов. При нарушении условий захоронения газогидраты способны растворяться и высвобождать свободный метан, который выходит на поверхность морского дна. Благодаря деятельности метанотрофных бактерий и хемосинтезу в местах просачивания метана образуется органическое вещество, обедненное изотопом C^{13} .

Этим же изотопом в метановых системах обеднены и живые организмы, в том числе бентосные фораминиферы. Эти простейшие зарекомендовали себя как хороший индикатор для определения потоков древнего и современного метана [1, 2, 3, 4, 5]. По соотношению изотопов C^{13} и C^{12} в их карбонатных раковинах можно судить об интенсивности и продолжительности метановых событий. Разница значений δC^{13} между одними и теми же живыми видами в метановых сипах и вне зоны их влияния невелика и количественно еще недостаточно изучена. В Охотском море в пределах одного вида она зафиксирована в диапазоне от -0,3 до -1,0 ‰ [9]. Однако в ископаемых раковинах отрицательные значения δC^{13} более изменчивы и достигают -40 ‰ [6, 7].

В рамках данной работы был изучен материал колонки LV92-49, отобранной в ходе экспедиции научно-исследовательского судна «Академик Лаврентьев» в юго-восточной части Охотского моря возле острова Парамушир в 2021 г. (рис. 1). В месте отбора исследуемой колонки в водной и осадочной толще отмечена зона с повышенной концентрацией углеводородных газов.

Объектом исследования послужили раковины бентосных фораминифер видов *Uvigerina parvocostata* (Saidova, 1961) и *Nonionellina labradorica* (Dawson, 1860) (рис. 2).

Целью работы было определить вариации изотопного состава раковин, установить негативные экскурсы δC^{13} и сопоставить данные с ранее полученными результатами по колонке LV50-05, отобранной в районе активных метановых сипов на восточном склоне острова Сахалин, для которой были зафиксированы мощные метановые выбросы [8].

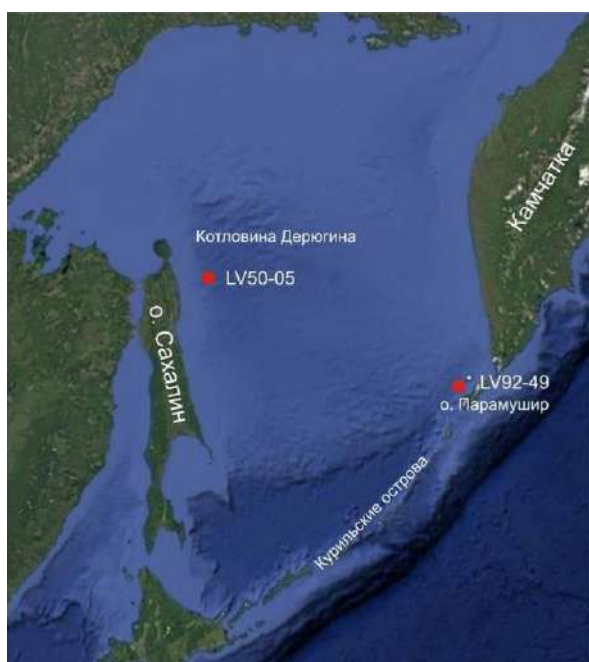


Рис. 1. Карта Охотского моря с точками отбора колонок

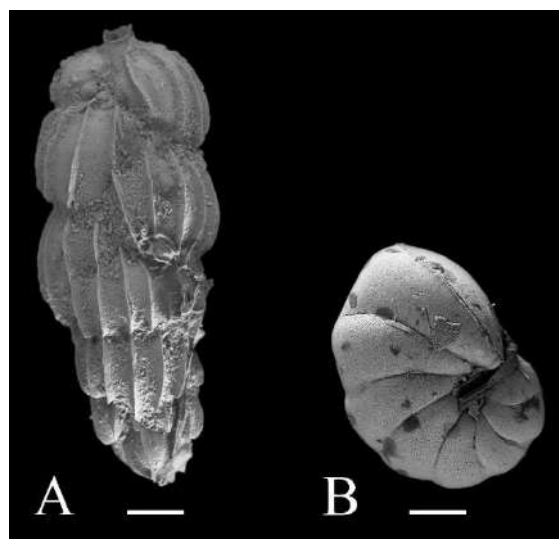


Рис. 2. Раковины исследуемых фораминифер.
A – *Uvigerina parvocostata* (Saidova, 1961),
B – *Nonionellina labradorica* (Dawson, 1860)

Анализ изотопов кислорода и углерода методом CF-GC-IRMS проводился в Приморском центре локального элементного и изотопного анализа Дальневосточного геологического института, г. Владивосток. Подготовка образцов для масс-спектрометрического изотопного анализа проводилась по методике разложения карбонатов в 15 %-ной фосфорной кислоте в условиях вакуума при температуре 95 °С. Выделенный CO₂ очищали криогенной сепарацией. Изотопный состав углерода и кислорода измеряли на изотопном масс-спектрометре Finnigan MAT 253 с использованием интерфейса Conflo III. Масса анализируемых образцов составляла порядка 30 мкг. Воспроизводимость результатов измерений δO^{18} и δC^{13} (1 σ) составляет 0,05 ‰. Калибровка метода проводилась в соответствии с лабораторными стандартами и международными стандартами NBS-18, NBS-19, IAEA-CO-8.

Результаты изотопного анализа представлены в таблице и на графиках (рис. 3).

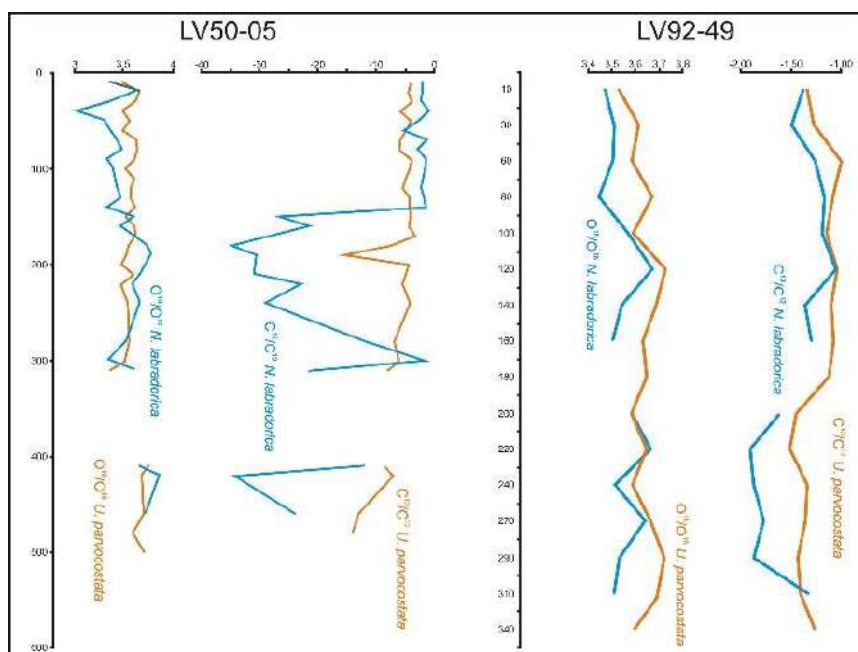


Рис. 3. Графики изотопного состава кислорода и углерода в раковинах фораминифер

Анализ данных (табл.) показал, что вариации значений δO^{18} невелики, амплитуды значений колеблются в интервале от 3,53 до 3,73 ‰ у вида *Uvigerina parvocostata* и от 3,44 до 3,67 ‰ у вида *Nonionellina labradorica*. Амплитуды изменения δC^{13} колеблются от -1,00 до -1,51 ‰ для вида *Uvigerina parvocostata* и от -1,06 до -1,91 ‰ у вида *Nonionellina labradorica*.

Таблица

Результаты изотопного анализа

Глубина, см	<i>Uvigerina parvocostata</i>		<i>Nonionellina labradorica</i>	
	$\delta^{13}\text{C}$ VPDB ‰	$\delta^{18}\text{O}$ VPDB ‰	$\delta^{13}\text{C}$ VPDB ‰	$\delta^{18}\text{O}$ VPDB ‰
10	-1,34	3,53	-1,38	3,47
30	-1,28	3,61	-1,50	3,51
60	-1,00	3,58	-1,26	3,50
80	-1,08	3,67	-1,17	3,44
100	-1,15	3,59	-1,19	3,57
120	-1,04	3,73	-1,06	3,67
140	-1,10	3,69	-1,36	3,54
160	-1,08	3,63	-1,30	3,50
180	-1,13	3,65	-	-
200	-1,45	3,58	-1,63	3,58
220	-1,51	3,64	-1,91	3,66
240	-1,34	3,59	-1,87	3,51
270	-1,36	3,66	-1,77	3,64
290	-1,43	3,72	-1,87	3,53
310	-1,41	3,69	-1,34	3,51
340	-1,27	3,58	-	-

Эти данные по своей величине соответствуют фоновым значениям этих двух видов, полученным при анализе проб поверхностного грунта на восточном склоне о. Сахалин [9].

Амплитуды значений δO^{18} для *Uvigerina parvocostata* и *Nonionellina labradorica* зафиксированы соответственно от 3,43 до 3,60; и от 3,28 до 3,37 ‰, а δC^{13} от -0,9 до -2,0 ‰.

Таким образом, несмотря на заметную метановую дегазацию в районе отбора колонки донных отложений, в изотопном составе раковин фораминифер не обнаружено значительных изменений в сравнении с фоновыми. В отличие от изотопных значений из осадочного разреза LV50-05, в исследуемой колонке не зафиксированы резкие отрицательные пики δC^{13} , что может указывать на отсутствие долговременных метановых событий в этой точке.

Автор выражает благодарность за предоставленные материалы В.Ю. Калгину и С.П. Плетневу (Тихоокеанский океанологический институт Дальневосточного отделения Российской академии наук).

Литература

1. Kennett J. Carbon isotopic evidence for methane hydrate instability during Quaternary interstadials [Text] / J. Kennett, K. Cannariato, I. Hendy, R. Behl // Science. – 2000. – V. 288. – P. 128-133.
2. Panieri G. Methane seepages recorded in benthic foraminifera from Miocene seep carbonates, Northern Apennines (Italy) [Text] / G. Panieri, A. Camerlenghi, S. Conti, G.A. Pini, I. Cacho // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. – 2009. – V. 284. – P. 271-282.
3. Rathburn A.E. Benthic foraminifera associated with cold methane seeps on the northern California margin: Ecology and stable isotopic composition [Text] / A. E. Rathburn, L. Levin, Z. Held, K. C. Lohmann // Mar. Micropaleontol. – 2000. – V. 38. – P. 247-266.
4. Rathburn A.E. Relationship between the distribution and stable isotopic composition of living benthic foraminifera and cold methane seep biogeochemistry in Monterey Bay, California [Text] / A.E. Rathburn, M.E. Perez, J.B. Martin, S.A. Day, C. Mahn, J. Gieskes, W. Ziebis, D. Williams, A. Bahls // Geochem. Geophys. Geosyst. – 2003. – V. 4. – P. 1106. doi:10.1029/2003GC000595.
5. Sen Gupta B.K., Foraminiferal colonization of hydrocarbon-seep bacterial mats and underlying sediment, Gulf of Mexico slope [Text] / B.K. Sen Gupta, E. Platon, J.M. Bernhard, P. Aharon // J. Foram. Res. – 1997. – V. 27. – № 4. – P. 292-300.
6. Torres M.E. Is methane venting at the seafloor recorded by $\delta^{13}\text{C}$ of benthic foraminifera shells? [Text] / M.E. Torres, A.C. Mix, K. Kinports, B. Haley, G.P. Klinkhammer, J. McManus, M.A. de Angelis // Paleoceanography. – 2003. – V. 18. – № 3. – P. 1062-1074.
7. Uchida M. Radiocarbon-based carbon source quantification of anomalous isotopic foraminifera in last glacial sediments in the western North Pacific [Text] / M. Uchida, K. Ohkushi, K. Kimoto, F. Inagaki, T. Ishimura, U. Tsunogai, T. Tuzino, Y. Shibata // Geochem. Geophys. Geosyst. – 2008. – V. 9. – № 4. doi:10.1029/2006GC001558.
8. Плетнев С.П. Негативные экскурсы $\delta^{13}\text{C}$ раковин бентосных фораминифер: голоценовая история метановых событий в центральной части Охотского моря [Текст] / С. П. Плетнев, Ву. Ю. Юньхуа, А. В. Романова и др. // Геология и геофизика. – 2020. – Т. 61. – №4. – С. 527-545.
9. Плетнев С.П. Фораминиферы и изотопия ($^{16}\text{O}/^{18}\text{O}$ и $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$) из раковин в местах выхода метана на восточном склоне о. Сахалин (Охотское море) [Текст] / С.П. Плетнев, В.К. Аннин, Ю. Ву, Т.С. Тарасова // Изв. ТИНРО. – 2014. – Т. 178. – С. 180-190.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВИЙ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ ПЕСЧАНЫХ ПОРОД ПРИ ВЫЧИСЛЕНИИ
СОДЕРЖАНИЯ БОРА ПО МАТЕРИАЛАМ РАДИОАКТИВНОГО КАРОТАЖА
НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ПОЛУОСТРОВА ЯМАЛ**

Ходоров И.С.

Научный руководитель профессор И.А. Мельник

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Концентрация бора в осадочных породах является важным показателем для определения палеоусловий осадконакопления, так как содержание бора зависит от генезиса осадков, минералогического состава пород, наличия в них органического вещества и т.д. [1].

При низком pH (кислотные условия) бор преимущественно находится в форме недиссоциированной борной кислоты (H_3BO_3), которая слабо адсорбируется на поверхности пород.

При увеличении pH до щелочных значений происходит диссоциация борной кислоты, образуются более активные борные ионы (BO_3^{3-}), которые легче адсорбируются на глинистых минералах. Вероятность сорбции бора также будет зависеть от отношения скоростей сорбции и динамики воды.

Взаимосвязь накопления бора в породах с условиями их формирования изучается с середины XX века [2, 4]. Исследования показывают, что содержание бора варьирует в зависимости от таких палеоусловий, как соленость древних бассейнов и типа осадочной среды. Бор используется как ключевой элемент для реконструкции палеосолёности древних водоемов. Высокое содержание бора в определенных слоях осадков указывает на повышенную солёность в момент осадконакопления.

В свою очередь, наличие органического вещества в породах положительно влияет на содержание бора в системе за счет образования стабильных комплексов с бором, способствуя его накоплению и удержанию в осадках. Разложение органики также может приводить к локальному изменению pH, что влияет на растворимость бора и его перераспределение. В нейтральных и слабощелочных условиях бор лучше удерживается в осадках.

Целью исследования является определение фациальных условий осадконакопления некоторых пластов на месторождениях полуострова Ямал с использованием традиционных методов исследования данных керна и геофизических исследований скважин, а также с использованием содержания бора в песчаниках, определенным по данным радиоактивных исследований скважин.

В работах [3, 5] показано, что определение содержания бора по данным нейтронного каротажа по тепловым нейтронам имеет хорошую степень корреляции с лабораторными исследованиями содержания бора в фактическом горном материале, что позволяет утверждать о валидности используемого метода при вычислении относительного содержания бора.

Объектом исследования послужили пласты ТП₁ и ТП₂₂ месторождения X и пласт ТП₁ месторождения М.

Породы пласта ТП₁ месторождения X (рис. 1) формировались в прибрежно-морском режиме осадконакопления, на что указывает комплекс следов жизнедеятельности солоноватоводных форм бентосных организмов (ихнофоссилии *Planolites*, *Teichichnus*, *Phycosiphon*, *Zoophycos*). О близости к континенту свидетельствует наличие обильного растительного детрита, углефицированных остатков корневых систем растений, прослойки паралических углей. Последние накапливались в периоды обмеления бассейна седиментации и приближения территории осадконакопления к поверхностным условиям.

Минимальные значения относительного содержания бора локализуются в северо-западной части территории и приурочены к фациям гребневых и центральных частей баров, максимальные – в центральной, восточной и юго-восточной частях территории и характеризуют фации склонов и подножий баров, где наблюдалась максимальная минерализация вод.

Приуроченность угольных пластов к нижней и средней частям разрезов и их отсутствие в верхних позволяют сделать предположение о смене в конце цикла формирования отложений пласта ТП₁ регрессивного этапа осадконакопления на трансгрессивный и об углублении бассейна седиментации.

Породы пласта ТП₂₂ месторождения X (рис. 2) накапливались при неустойчивой, сильно и часто меняющейся динамике воды. Отложившиеся осадки подвергались неоднократному размыву (эрозионные поверхности, литокласты, примесь гравия). Периоды возрастания динамики, в условиях которых накапливался песчаный материал, сменялись периодами ее снижения (формировались волнисто-слоистые биотурбированные алевритовые и глинисто-алевритовые осадки) и застойными условиями седиментации, при которых в условиях отчленения от моря осуществлялось заиливание и заболачивание выпшедших на поверхность баров и накапливались растительные остатки.

Среднее относительное содержание бора изменяется от 0,013 до 0,037 д. е., максимальные значения приурочены к фациям склоновых частей баров и локализуются в центральной и северо-восточной части территории. Минимальными значениями относительного содержания бора обладают песчаники, расположенные в юго-западной части территории (скважина 42), для которых характерны признаки периодического выхода баров на поверхность и заболачивания.

На литолого-фациальной карте пласта ТП₁ (рис. 3) практически вся территория занята песчаными осадками, алевритовые и глинисто-алевритовые породы распространены локально, в разрезах они залегают в основном в верхней части. Толщина отложений не очень значительная и колеблется от 10,1 до 16,3 м. Песчаники вскрыты всеми скважинами, их толщина по $а_{пс}=0,5$ изменяется от 2,6 до 13 м, лишь в районе скважин 24 и 53 распространены песчаные отложения, $а_{пс}$ которых не достигает значений 0,5.

Относительное содержание бора изменяется от 0,15 до 0,57 д. е.

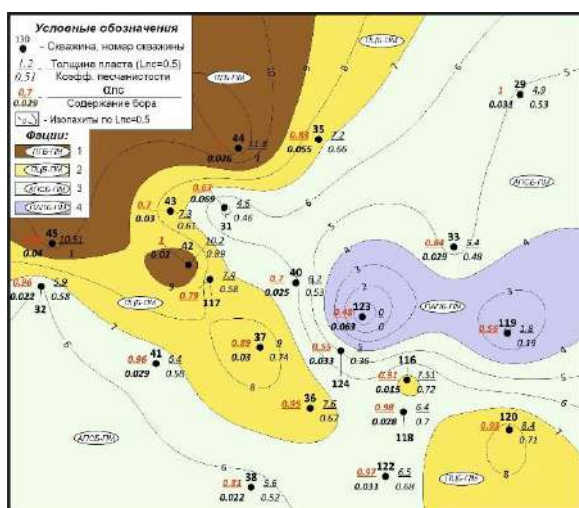


Рис. 1. Литолого-фациальная карта пласта ТП₁ месторождения Х.
Фаии: 1 – среднезернистых песков гребневых частей баров; 2 – мелко- и среднезернистых песков центральных частей баров;
 3 – алевритов и мелкозернистых песков склоновых частей баров; 4 – песчано-алевритовых осадков подножий баров

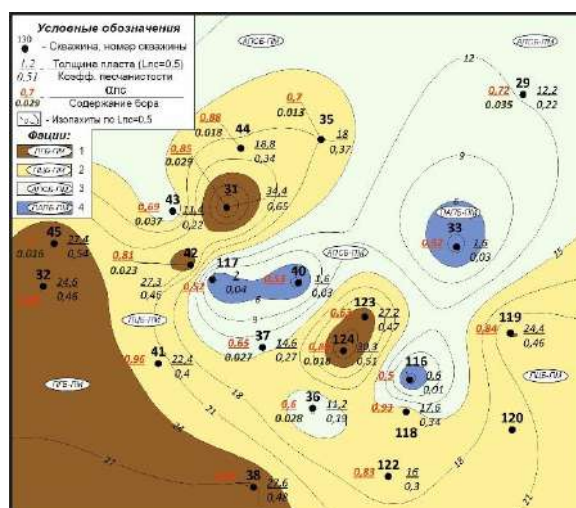


Рис. 2. Литолого-фациальная карта пласта ТП₂₂ месторождения Х.
Фаии: 1 – среднезернистых песков гребневых частей баров; 2 – мелко- и среднезернистых песков центральных частей баров; 3 – алевритов и мелкозернистых песков склоновых частей баров; 4 – песчано-алевритовых осадков подножий баров

Максимальные значения относительного содержания бора отмечены на западе и юго-западе территории и приурочены к фациям гребневых частей баров, которые формировались в условиях высокой гидродинамической активности среды седиментации и для которых характерна повышенная минерализация вод.

Относительно невысокие значения содержания бора в северо-восточной части территории, вероятно, обусловлены снижением гидродинамической активности до низкой и средней ($\alpha_{\text{пс}}=0,47-0,53$) при постоянной минерализации вод.

Таким образом, исследуемые пласты сформированы в прибрежно-морских условиях осадконакопления. Наибольшая концентрация бора наблюдается в песчаниках, образованных в углубленных участках территории при высокой минерализации пластовых вод, а также в песчаниках с высокой гидродинамической активностью среды седиментации. Увеличение количества углей по разрезу пласта снижает концентрацию бора в песчаниках.

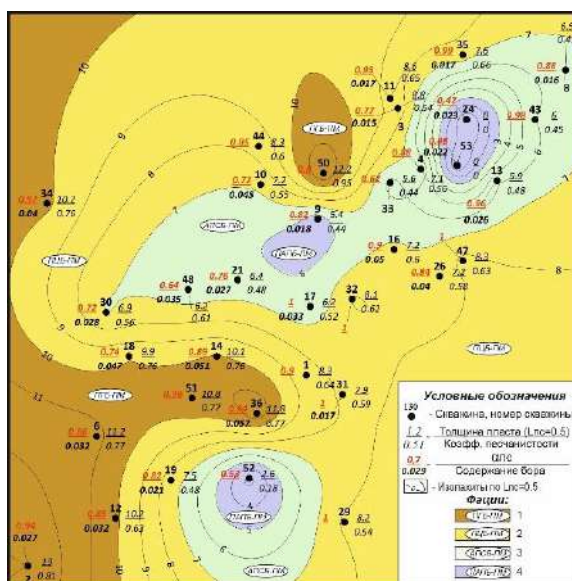


Рис. 3. Литолого-фациальная карта пласта ТП₁ месторождения М.
Фаии: 1 – среднезернистых песков гребневых частей баров; 2 – мелко- и среднезернистых песков центральных частей баров; 3 – алевритов и мелкозернистых песков склоновых частей подводных баров; 4 – песчано-алевритовых осадков подножий баров

Литература

1. Валиев Ю.Я. Геохимия бора в юрских отложениях Гиссарского хребта [Текст] / Ю.Я. Валиев. – М.: Наука, 1977. – 150 с.
2. Мазур В.М. Бор как индикатор палеосолёности древних водоемов на примере верхнеюрских и нижнемеловых отложений Западно-Сибирской низменности [Текст] / В.М. Мазур // Биостратиграфия мезозойских и палеозойских отложений нефтегазоносных областей Средней Азии, Западной Сибири и Русской платформы. – М., 1971.
3. Мельник И.А. Определение интенсивности геохимических процессов по материалам геофизических исследований скважин [Текст] / И.А. Мельник. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 2016. – 146 с.
4. Столбова Н.Ф. Бор в нефтегазоносных отложениях Западной Сибири [Текст] / Н.Ф. Столбова // Изв. Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2001. – Т. 304. – № 1. – С. 217-225.
5. Ходоров И.С. Определение условий осадконакопления песчаных пород при вычислении содержания бора по материалам ГИС [Текст] / И.С. Ходоров, И.А. Мельник // Изв. Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2025. – Т. 336. – №1. – С. 61-69.

**МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РАКОВИН АГГЛЮТИНИРОВАННЫХ БЕНТОСНЫХ
ФОРАМИНИФЕР REORPHAX EXCENTRICUS**

Чернов Д.Д.

Научный руководитель старший научный сотрудник А.В. Романова
*Дальневосточный геологический институт Дальневосточного отделения
Российской академии наук, г. Владивосток, Россия*

Бентосные фораминиферы представляют собой одноклеточные эукариотические организмы, обитающие в водной среде, чьи цитоплазматические структуры заключены в раковины, состоящие из карбонатных материалов или агглютинируемых частиц, таких как песчинки. Эти организмы вызывают значительный интерес в научном сообществе, особенно благодаря их широкому применению в стратиграфии и палеоокеанологии. Особое внимание уделяется агглютинированным фораминиферам, которые формируют свои раковины из экзогенных частиц, включая песчинки, обломки раковин других организмов и минеральные зерна. Способность этих организмов селективно отбирать частицы для формирования своих раковин делает их уникальными биоиндикаторами седиментологических и палеоэкологических условий. Многочисленные исследования, начиная с работ Armynot du Châtelet и др. [1] и Makled и Langer [4], показывают, что этот отбор осуществляется по двум основным критериям: размеру и минералогическому составу частиц.

Таксономические исследования бентосных фораминифер Охотского моря были проведены Асано [2], Щедриной [5] и другими. Бентосные фораминиферы из донных отложений Охотского моря зарекомендовали себя как надежные индикаторы прошлых океанологических изменений [3]. Тем не менее, группа агглютинированных фораминифер для данного региона остается недостаточно изученной и не описана в полной мере. В общепринятой практике до сих пор открытым остается вопрос о их избирательной способности при формировании раковин.

Цель настоящего исследования – комплексное изучение морфологии раковин фораминифер вида *Reorhax excentricus* Cushman, с использованием методов световой и электронной микроскопии с функцией энергодисперсионного анализа, а также рентгеновской компьютерной томографии. Раковины агглютинированных фораминифер данного вида были отобраны из поверхностных проб, полученных в ходе 42 рейса научно-исследовательского судна «Академик М.А. Лаврентьев» (2006). С помощью светового микроскопа были выделены образцы бентосных агглютинированных фораминифер из осадка и сделаны фотографии в отраженном свете (рис.). Осадок, содержащий фораминиферы, представляет собой рыхлую сыпучую массу, состоящую из округлых и угловато-округлых обломков кристаллов и частиц горных пород.

Основная составляющая породы включает полевошпатовые минералы – плагиоклаз и калишпат (~60 % от объема породы), в меньшей степени – кварц (~10–15 % от объема породы). В составе также присутствуют обломки кристаллов амфибола (~5 % от объема породы), а в качестве примесей встречаются единичные таблички и чешуйки биотита, зерна рудных минералов (титаномагнетита и ильменита), граната, а также обломки вулканического стекла (бурого или черного цвета). В породе также обнаружены отдельные мелкие обломки интрузивных (гранодиориты) и гидротермально измененных пород.

Изучение внутреннего строения образцов раковин фораминифер проводилось на рентгеновском микротомографе SkyScan 1272 (Bruker microCT, Бельгия). По итогам микротомографического сканирования были получены 3D-изображения образцов, демонстрирующие внутреннее строение раковины как в полном объеме образца, так и на заданном поперечном срезе. Установлено, что *R. excentricus* имеет одностенную раковину, что позволяет получать данные о внутреннем строении и минералогическом составе раковины без необходимости разрушения образцов или изготовления шлифов для последующего анализа.

Применение сканирующего электронного микроскопа в сочетании с энергодисперсионной спектроскопией предоставляет возможность получения подробной информации о химическом составе образцов на микроуровне. Элементное определение минералов, составляющих раковины бентосных фораминифер, проводилось с использованием элементного химического картирования на двухлучевом сканирующем электронном микроскопе Tescan Lyla 3 XMH, оснащенный прибором энергодисперсионной спектроскопии EDS AZtec X-Max 80 Standart. Данный метод позволяет работать с естественными шероховатыми поверхностями, где полировка невозможна, а трехмерное наблюдение необходимо для определения вида и наблюдения за формой зерен. Фораминиферы были покрыты углеродом для

улучшения качества снимков и количественного определения химических элементов. Сначала были получены изображения образцов с помощью вторичных электронов для представления их общей формы, а затем – изображения для картирования элементов. В результате анализа были определены минеральные зерна кварца, плагиоклаза и ортоклаза.

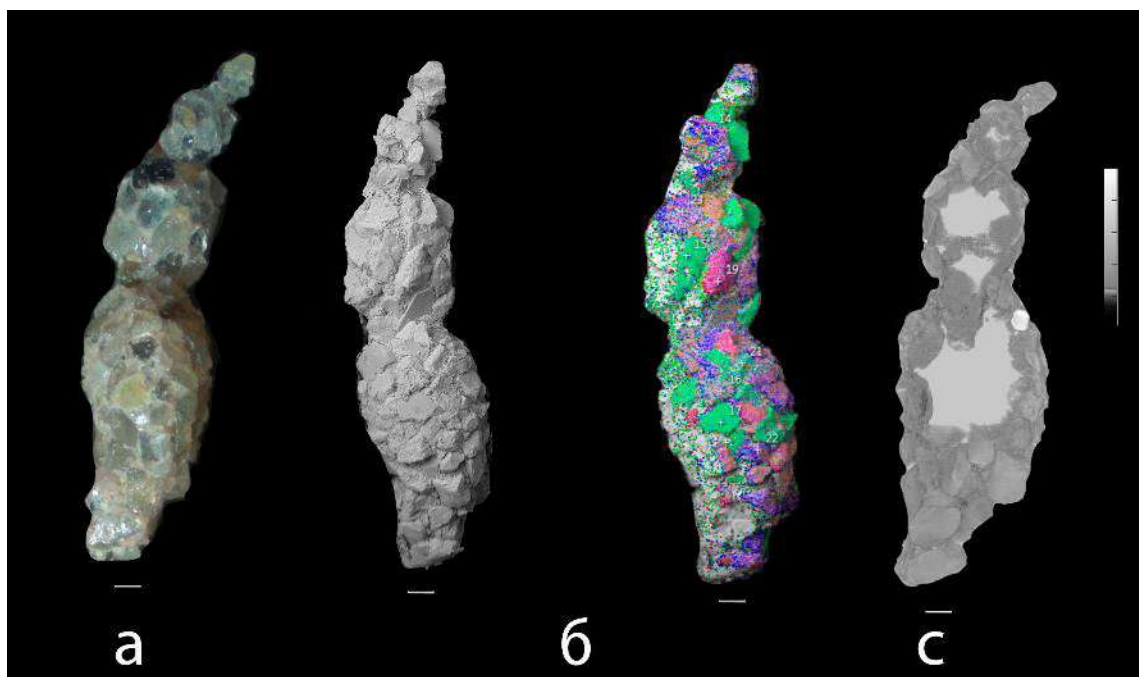


Рис. Результаты комплексного изучения морфологии раковины фораминифер вида *Reophax excentricus* Cushman, 1910 с использованием методов световой (а) и электронной микроскопии с функцией энергодисперсионного анализа (б), а также рентгеновской компьютерной томографии (с)

Итоги комплексного анализа морфологии и строения раковины *R. excentricus* подтверждают данные о многокамерном строении раковины данного вида. Раковина преимущественно формируется из хаотично распределенных частиц, соответствующих параметрам осадка, из которого были отобраны образцы. Дальнейшие планируемые исследования, включая анализ большого числа образцов из различных геологических формаций, позволят создать более полную картину механизмов селективности и адаптации агглютинированных фораминифер к изменяющимся экологическим условиям. Кроме того, изучение механизмов селективного отбора частиц может предоставить новые данные о сложных биологических процессах, лежащих в основе формирования раковин у этих организмов.

Литература

1. Armynot du Châtelet, E. Mineralogy of agglutinated benthic foraminifera; implications for paleo-environmental reconstructions [Text] / E. Armynot du Châtelet, P. Recourt, V. Chopin // Bull. Soc. Geol. Fr. – 2008. – V.179 (6). – P. 583-593.
2. Asano K. The foraminifera from the adjacent seas of Japan, collected by S. S. Soyomary, 1922-1930, Part 4. Buliminidae [Text] / K. Asano // Science Reports, 2nd series (Geology). – Tohoku University, 1958. – V. 28. – P. 1-26.
3. Khusid T.A. Late Quaternary environmental changes on the southeastern slope of the Sea of Okhotsk inferred from benthic foraminifera [Text] / T.A. Khusid, M.S. Barash, N. Biebow, D. Nürnberg, R. Tiedemann // Oceanology. – 2005. – V. 45 (3). – P. 413-419.
4. Makled W.A. Preferential selection of titanium-bearing minerals in agglutinated foraminifera: ilmenite (FeTiO_3) in *Textularia hauerii* d'Orbigny from the Bazaruto Archipelago, Mozambique [Text] / W. A. Makled, M. R. Langer // Rev. Micropaleontol. – 2010. – V. 53 (3). – P. 163–173.
5. Shchedrina Z.G. Foraminiferal fauna off southern Sakhalin and Kurile islands: Foraminiferoваia fauna luzhnogo Sahalina I Kurilskih ostrovov. [Text] / Z.G. Shchedrina // Issledovania Dalnevostochnih Morei SSR. – M.: Akademiya Nauk SSSR Publishing, 1958. – № 5. – P. 5-41. (In Russian).

СЕКЦИЯ 2

РУДООБРАЗУЮЩИЕ СИСТЕМЫ: ПРОБЛЕМЫ МИНЕРАЛОГИИ, ГЕОХИМИИ И ПЕТРОЛОГИИ

ШУ-САРЫСУЙСКАЯ ДЕПРЕССИЯ-НОВАЯ ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ РЕДКОЗЕМЕЛЬНАЯ ПРОВИНЦИЯ

Адилбекова А.К.

Научный руководитель Е.Г. Язиков

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Шу-Сарысуйская депрессия представляет собой крупную мезозой-кайнозойскую структуру, унаследованную сформировавшуюся на месте средне-позднепалеозойской впадины. Рудовмещающий ураноносный комплекс разделяется на два осадочных мегаритма: верхнемеловой и палеоцен-эоценовый. Верхнемеловой мегаритм выполнен отложениями пестроцветной континентальной глинисто-гравийно-песчаной формаций. Здесь три слагающих его меловых рудовмещающих горизонта представленных аллювиально-озерными образованиями (K_2t_1 ; K_2t_2 -s; K_2km -m). Палеоцен-эоценовый мегаритм представлен отложениями континентальной пестроцветной формаций (Pg_2^1) и образованиями прибрежно-морской и морской сероцветной песчано-глинистой и глинистой формаций (Pg_2^1 , Pg_2^{2b} и Pg_2^3). Одной из многих задач глубинного геологического картирования 200-го масштаба (далее ГТК-200), проводимого АО «Волковгеология», были поиски и оценка редкоземельных концентраций в мезозой-кайнозойских образованиях. Основанием для такой задачи послужили многочисленные находки проявлений редких земель и иттрия, обнаруженные при проведении геолого-съемочных работ в прежние годы. В результате проведенных работ по скважинам, расположенным в основном по сети 25,8–12,8 x 12,8–6,4 км, было выявлено свыше 300 пересечений аномальных концентраций суммы редких земель и иттрия, связанных с различными горизонтами верхнего мела и палеогена. Концентрация суммы редких земель в них составило от 0,03 до 0,1–0,45 % (т.е. от 300 до 4500 г/т). При этом 184 из 300 проявлений с содержанием ΣTR свыше 0,03% связано с отложениями верхнего мела и только 97 с отложениями палеоцена-эоцена. Наиболее известными проявлениями редкоземельных концентраций является участок Аккенсе, расположенный на сочленении Сарысуйского купольного района с Бертускенским прогибом. Здесь в скважине 17541 отмечен рудный интервал с содержанием ΣTR 0,113 % (1,13 кг/т) при мощности рудного пересечения около 9 м. И такие проявления редкоземельных минералов прослежены вдоль всей границы, где мезозойско-кайнозойские отложения соприкасаются с выходами метаморфогенно-гранитоидно-осадочного комплекса протерозой-палеозойских пород.

В 2015 году по программе «Поисковых работ по восполнению минерально-сырьевой базы урана АО «Нак Казатомпром» 2016–2027 гг.» были проведены поисковые работы на Восточно-Уванасской площади, которая расположена от границы выклинивания мезо-кайнозойских отложений, слагающих осадочный чехол Шу-Сарысуйской депрессии. Это площадь была разбурена по сети 6,4 x 6,4 км. Все скважины пройдены с отбором керна по палеогеновому и меловому разрезам. По результатам рентгеноспектрального анализа были отмечены повышенные содержания суммы редкоземельных элементов и иттрия по всему мезо-кайнозойскому разрезу. Мощность таких пересечений составляло от 0,5 до 5–6 м. В результате возник вопрос: что же является носителем редкометального оруденения встреченного в пробуренных скважинах. Для решения этой задачи была разработана методика по минеральному изучению интервалов с повышенным содержанием редкоземельных элементов. Специалистами АО «Волковгеология» были отобраны пробы 12–15 кг из интервалов с повышенным содержанием ΣTR и иттрия, по которым был проведен полный минералогический анализ. Эти пробы были промыты до черных шлихов, которые в последующем были детально изучены. По данным минералогического анализа шлихов участка Восточный Уванас к основным собственно редкоземельным минералам отнесены минералы монацит и ксенотим, к редкометальным – касситерит, к второстепенным – циркон, в составе которого так же отмечено присутствие редкоземельных элементов в количестве Y – 0,015 %; Yb – 0,0015 %; La – 0,01 %; Ce – 0,02 %; Cd – 0,003 % и Ho – 0,003 %. Остальные минералы отнесены к рудным и аксессуарным. Магнитная фракция шлиха представлена в основном частично гематитизированным магнетитом и яkobситом (сложный оксид марганца). Магнетит и яkobсит в объеме 87 % присутствует во всех пробах черного шлиха. Основную массу электромагнитной фракции шлиха представляют гематит, ильменит, гранат, турмалин и ставролит. В незначительных количествах присутствует эпидот, цоизит, сфен, амфибол, гидроокислы железа и окислы марганца. К носителям редкоземельных элементов отнесены монацит и ксенотим. По результатам оптико-эмиссионного анализа с индуктивно связанной плазмой в составе проб отмечается следующие содержания суммы РЗЭ – 0,0065–0,021 % (65–210 г/т ГРМ). В исследованных пробах из всех РЗЭ с наиболее высокими концентрациями выделяются – церий, лантан, иттрий, входящие в химический состав монацита, и иттрия в состав ксенотима.



**Рис. 1. Фракция 0,1–0,05.
Монацит (I). Николи +.
Увеличение 630***

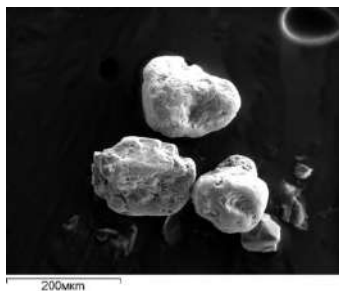


**Рис. 2. Фотографии по данным
рентгено - спектрального
анализа разноокрашенный
монацит**



**Рис. 3. Класс -0,1+0,0 5мм.
1 – ставролит. (микрозонд),
2 – турмалин, 3 – биотит, 4 – полевые
шпаты, 5 – лейкоксен, 6 – кварц
окисленный. Иммерсионный
препарат, увел. 100, без анализатора**

С учетом того, что известные проявления характеризуются невысокими средними содержаниями и значительной глубиной залегания (около 100–150 м), отработка минеральных накоплений редкоземельных элементов горными способом оказалась нерентабельной.

Установлено, что вместе с ураном и другими компонентами в процессе отработки урановых месторождений продуктивными растворами извлекаются и редкоземельные элементы. Поэтому вопрос о промышленной значимости накопления редкоземельных элементов должен быть пересмотрен. Теперь, на первый план выдвигается задача выяснения геотехнологических параметров, определяющих возможность эксплуатации редкометалльных накоплений способом ПВ.

Принципиальная возможность обработки редкоземельных концентраций сернокислотным способом установлена на основании результатов эксплуатаций урановых месторождений. По результатам поисковых работ установлено, что концентрации редкоземельных элементов и иттрия характеризуются многоярусным распространением в разных горизонтах и свитах мел-палеогенового структурно-формационного комплекса. Наиболее многочисленные и значительные концентрации редких земель локализованы в отложениях континентальной пестроцветной глинисто-гравийно-песчаной формации. По нашему мнению, в среднеальпийский платформенный этап в течение длительного времени оставалась благоприятная обстановка для миграции и накопления в синхронных отложениях значительных масс редкоземельных элементов. Специалисты АО «Волковгеология» считают, что территория центральной и северной частей Шу-Сарыуской депрессии представляет собой потенциально рудную иттриево-редкоземельную провинцию с высокими перспективами расширения масштабов ее рудоносности.

Для реализации промышленных перспектив провинции предстоит решить задач:

1. Технологическая задача, определяющая возможность рентабельной отработки иттриево-редкоземельного оруденения способом ПВ. Часть этой задачи решена при проведении опытных работ. Доказано, что из урановых руд, содержащих фоновые (0,01–0,02 %) концентрации суммы редких земель и иттрия извлекаются в раствор и накапливаются в нем до практически значимых концентраций.

2. Определить рентабельность извлечения из водопроницаемых слоев с их более высоким содержанием (от 300 до 1000 г/т), выяснить оптимальный тип и концентрацию реагентов-растворителей, режим подачи, извлекаемость компонентов. Необходимо исследовать фильтрационные характеристики руд, вмещающих пород и их соотношение.

3. Решить вопрос о временных подсчетных кондициях, которые применительно к способу ПВ для редкоземельно-иттриевого оруденения практически отсутствуют. Они могут быть разработаны на основе результатов комплексного изучения нескольких объектов (участок Аккенсе).

После решения этих задач могут быть развернуты поисково-оценочные и разведочные работы для создания промышленной иттриево-редкоземельной сырьевой базы на основе выявления и подготовки к обработке месторождений с относительно богатыми рудами, характеризующимися более высокими содержаниями как суммы, так и отдельных элементов лантаноидов.

Литература

1. Берикболов Б.Р., Петров Н.Н., Карелин В.Г. Месторождения урана Казахстана. Справочник // Алматы: РГП ПХВ «Информационно аналитический центр геологии и минеральных ресурсов РК. – 2005.
2. Грушевой Г.В. Геологическое строение и ураноносность Шу-Сарыуской провинции / Г.В. Грушевой. – М.: ВСЕГЕИ, 1980. – 180 с.
3. Никитин Е.А., Агронский А.Р., Баранов Н.П. Геологическая карта СССР масштаба 1:200 000. Лист L-42-XXVII. Объяснительная записка. Москва, 1970.

**МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ РУДНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ РЯБИНОВОГО
ЗОЛОТО-МЕДНО-ПОРФИРОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЦЕНТРАЛЬНОГО АЛДАНА (ЯКУТИЯ)**

Безлепки́н А.А.

Научный руководитель профессор Е.Г. Языков

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
г. Томск, Россия*

Объектом исследования данной работы является Рябиновое золото-медно-порфировое месторождение Центрального Алдана (Республика Саха). Месторождение расположено в Центрально-Алданском золотоносном районе, в 30 километрах восточнее г. Алдана, и занимает бассейн ручья Рябиновый, являющегося правым притоком р. Якут [1].

Рябиновое месторождение приурочено к одноимённому массиву, который обладает большим разнообразием plutonic и гипабиссальных щелочных магматических пород. Породы Рябинового массива, прорывающие гнейсы и гранито-гнейсы докембрия, карбонатные, терригенно-карбонатные и терригенные отложения венда и юры, образуют интрузивное тело, контролируемое зоной пересечения двух крупных региональных разломов: Якутского меридионального и Юхутинского северо-западного [2].

Локализация рудной минерализации Рябинового месторождения сосредоточена в пределах двух рудоносных участков – Мусковитового и Нового – расположенных среди гидротермально изменённых сиенитов алданского комплекса, содержащих прожилково-вкрапленную сульфидную рудную минерализацию [2].

В рудах месторождения главным рудным минералом является пирит, второстепенные минералы характеризуются халькопиритом, сфалеритом, галенитом, молибденитом, редко встречаются золото самородное, электрум, серебро самородное, аргентит, теллуриды серебра (гессит), блеклые руды, станнин.

Сульфиды системы Cu-S разделяются на два ряда: халькозин-дигенитовый или высокомедистые сульфиды (Cu_2S - $\text{Cu}_{1.75}\text{S}$) и джирит-ковеллиновый или маломедистые сульфиды ($\text{Cu}_{1.5-1.6}\text{S}$ - CuS). Многие нестехиометрические минералы имеют очень узкие пределы устойчивости при изменении свойств среды, что позволяет использовать их в качестве минералов индикаторов условий минералообразования и последующих преобразований [1].

Известны три полиморфные модификации борнита: ромбическая устойчивая при обычной температуре, тетрагонально-скаленоэдрическая метастабильная при обычной температуре и кубическая, образующаяся при температуре $> 228^\circ\text{C}$.

Система Ag_2S встречается в виде двух модификаций: аргентита – высокотемпературной кубической модификации β Ag_2S , которая устойчива выше 179°C , и акантита – низкотемпературной псевдоромбической моноклинной модификации α Ag_2S , образующейся при температурах ниже 179°C . Кубическая модификация при понижении температуры претерпевает параморфное превращение в псевдоромбическую модификацию.

Использование рентгеноспектрального микроанализа шлифов, даст подробную информацию о минеральном составе и структуре сульфидной минерализации. На основании полученных результатов о химическом составе сульфидов, определяются точные формулы минералов. Таким образом, можно установить точную полиморфную модификацию и наличие редких минералов, которые невозможно обнаружить при световой микроскопии.

В изученных метасоматитах рудная минерализация сложена в основном сульфидами меди, свинца и серебра, которые образуют между собой как самостоятельные минеральные агрегаты, так и сложные сростания минеральных зёрен.

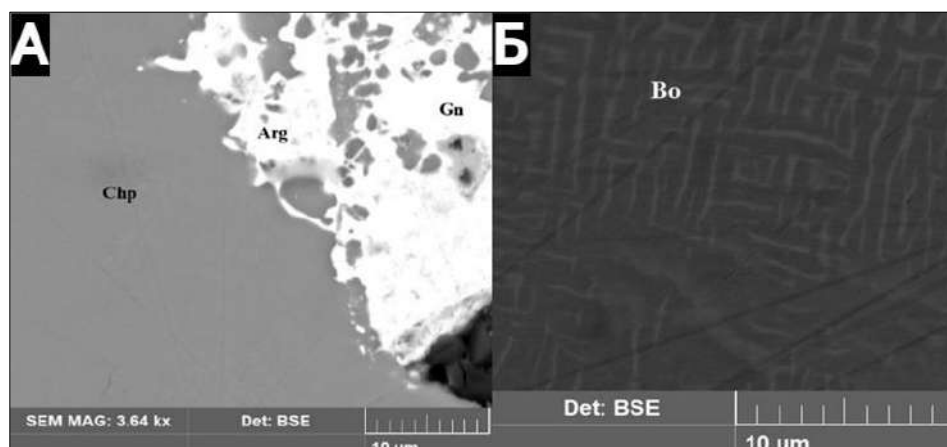


Рис. 1. Фото с растрового электронного микроскопа Tescan Vega II LMU: А – Сложные сростания аргентита (Arg) с халькопиритом (Chp) и галенитом (Gn); Б – Структурная неоднородность в борните (Bo). Более светлые участки представлены борнитом с примесью серебра, более тёмные участки сложены борнитом без примесей

Рудная минерализация серебра представлена аргентитом ($\beta\text{Ag}_{1.65}\text{S}_2$) и гесситом ($\text{Ag}_{2.5}\text{Te}_{0.92}$). Аргентит (рис. 1, А) образует кристаллы неправильной формы (размер зёрен от 0,001 до 0,02 мм) и сложные сростания

СЕКЦИЯ 2. РУДООБРАЗУЮЩИЕ СИСТЕМЫ: ПРОБЛЕМЫ МИНЕРАЛОГИИ, ГЕОХИМИИ И ПЕТРОЛОГИИ

с галенитом и халькопиритом. Теллурид серебра гессит (рис. 2, Б), образует изометричные, вкрапленные зёрна (размер от 0,001 до 0,01 мм) в борните и халькозине, а также сложные микрокристаллические сростания с халькозином.

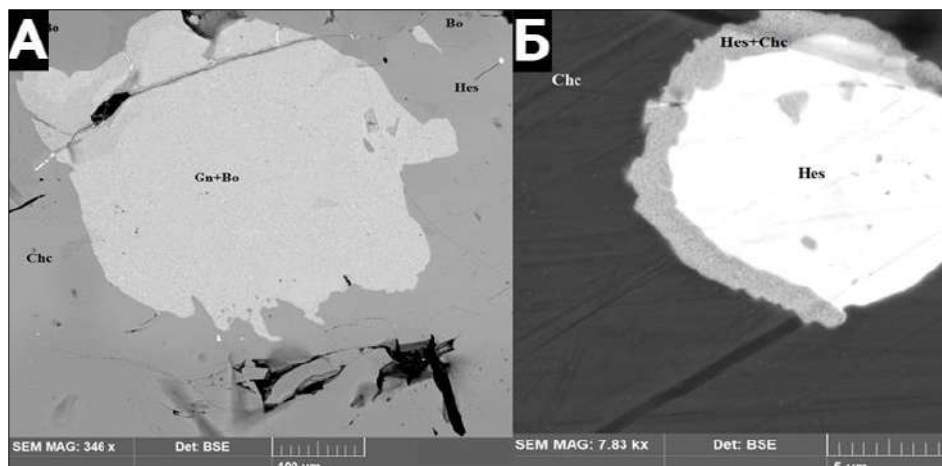


Рис. 2. Фото с растрового электронного микроскопа Tescan Vega II LMU: А – Зерно тонких сростаний борнита (Bo) и галенита (Gn), в агрегате сульфида, сложенного халькопиритом (Chr) и борнитом (Bo), одиночное зерно гессита (Hes); Б – Зерно гессита (Hes) в агрегате халькозина (Chc), на границе зёрен тонкие сростания гессита и халькозина (Hes+Chc)

Медные рудные минералы борнит, халькопирит и халькозин составляют большую часть рудной минерализации образцов. Борнит ($\text{Cu}_{5,07}\text{Fe}_{0,99}\text{S}_4$) образует крупные (до 10 мм) неправильные зёрна, а также агрегаты с халькозином и тонкие сростания с галенитом (рис. 2, А). В борните замечена структурная неоднородность (рис. 1, Б), вызванная примесью серебра (от 0,3 % до 0,45 %) в его составе (рассчитанная формула борнита с примесью серебра ($\text{Cu}_{5,07}\text{Fe}_{0,99}\text{Ag}_{0,03}\text{S}_4$)). Халькопирит ($\text{Cu}_{1,04}\text{Fe}_{0,91}\text{S}_2$) также образует крупные зёрна (до 10 мм) и сложные сростания с аргентитом (рис. 1, А). Халькозин ($(\text{Cu}_{1,89}\text{Fe}_{0,3})_{1,92}\text{S}$) в образцах соответствует джарлеиту ($\text{Cu}_{1,96-1,86}\text{S}$), образует крупные (до 10 мм) зёрна неправильной формы и часто развивается по борниту, формируя тонкие сложные сростания с гесситом на контакте с его зёрнами (рис. 2, Б).

Таблица 1

**Кристаллохимические формулы минералов в образцах с сульфидной минерализацией
Рябинового месторождения, рассчитанные по сере**

Минерал, соединение	Формула
Халькопирит	$\text{Cu}_{1,04}\text{Fe}_{0,91}\text{S}_2$
Борнит	$\text{Cu}_{5,07}\text{Fe}_{0,99}\text{S}_4$
Борнит с примесью серебра	$\text{Cu}_{5,07}\text{Fe}_{0,99}\text{Ag}_{0,03}\text{S}_4$
Халькозин	$(\text{Cu}_{1,89}\text{Fe}_{0,3})_{1,92}\text{S}$
Пирит	$\text{Fe}_{0,99}[\text{S}_2]$
Пирротин	FeS
Галенит	$\text{Pb}_{1,02}\text{S}$
Аргентит	$\beta\text{Ag}_{1,65}\text{S}_2$
Гессит	$\text{Ag}_{2,5}\text{Te}_{0,92}$

Полученные результаты позволили определить полиморфные модификации для борнита и халькозина: халькозин в рудной минерализации Рябинового месторождения относится к халькозин-дигенитовому (высокомедистому) ряду сульфидов (Cu_2S - $\text{Cu}_{1,75}\text{S}$) и соответствует Джарлеиту $\text{Cu}_{1,96-1,86}\text{S}$. Температура образования до 91°C. Борнит соответствует своей ромбической низкотемпературной модификации.

Таким образом, минерализация Рябинового месторождения по минеральному составу представлена сульфидами меди, железа, свинца и серебра. Определены в составе сульфидных парагенезисов полиморфные модификации высокомедистых сульфидов, джарлеит и ромбический борнит, а также аргентит. Информацию о полиморфных модификациях сульфидов можно использовать для определения условий образования рудной минерализации.

Литература

1. Бетехтин А.Г. Курс минералогии: учебное пособие / А.Г. Бетехтин. – М.: КДУ, 2007. – 703 с.
2. Рябиновое медно-золото-порфировое месторождение (Южная Якутия): геологическое строение, датирование околорудных метасоматитов и оруденения / Н.В. Шатова, А.В. Молчанов, А.В. Терехов, В.В. Шатов, О.В. Петров, С.А. Сергеев, Э.М. Прасолов, Г.П. Дворник, В.И. Леонтьев // Региональная геология и металлогения. – 2019. – № 77. – С. 75–97.

**ВЛИЯНИЕ ПОВЫШЕННОГО СОДЕРЖАНИЯ КАРБОНАТОВ В ГОРНЫХ ПОРОДАХ
НА ПРОЦЕСС ДОБЫЧИ УРАНА МЕТОДОМ ПСВ
Бердник И.В.**

Научный руководитель профессор Е.Г. Языков

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Целью настоящих исследований стал анализ процесса добычи урана методом подземного скважинного выщелачивания на технологических блоках с геологическим осложнением в виде наличия локального распространения зон с повышенным содержанием карбонатов в горных породах продуктивного горизонта.

Объектом исследования выбран технологический блок № 44 (рис. 1) центральной залежи участка №4 месторождения «Инкай» (южный фланг).



Рис. 1. Технологический блок № 44

Участок № 4 месторождения «Инкай» представляет собой территорию в юго-западной части Шу-Сарысуйской депрессии, входящую в состав Южно-Казахстанской области, где пьезометрический уровень напора пластовой воды ураносодержащего продуктивного водоносного горизонта достигает +25 метров.

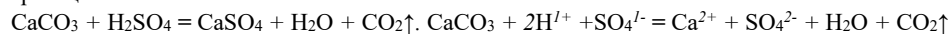
Добыча урановых руд на данном участке месторождения производится методом подземного скважинного выщелачивания (ПСВ) [1].

Метод ПСВ – способ разработки рудных месторождений песчаникового типа без поднятия руды на поверхность, путем избирательного перевода ионов урана в продуктивный раствор непосредственно в недрах. При этом ураносодержащая руда остается под землей, в отличие от традиционных методов добычи (шахтный и карьерный).

Район месторождения представляет собой крупную эпикаледонскую структурную впадину. В геологическом строении депрессии участвуют образования трех структурных этажей: нижнего-складчатого Каледонского фундамента, среднего-промежуточного полуплатформенного и верхнего-мезозойско-кайнозойского платформенного чехла. Преимущественно, в исследуемом участке преобладают средне-мелкозернистые пески с прослоями глин.

На отдельных технологических блоках возникают осложнения в виде повышенного содержания карбонатов в продуктивном горизонте. В результате химической реакции растворов серной кислоты с минералами горных пород, которыми сложен продуктивный горизонт, происходит выделение значительного количества CO_2 и выпадение в осадок гипса.

Формула реакции:



Для успешного ведения технологического процесса ПСВ необходимо обеспечить стабильную циркуляцию технологических растворов в системе: ствол скважины – продуктивный горизонт. При снижении пропускной способности начинается снижение эффективности процесса ПСВ. Снижение плановой циркуляции технологических растворов вызывается следующими обстоятельствами:

1. Вследствие избыточного выделения CO_2 при реакции в продуктивном горизонте, значительно снижается производительность погружных насосных установок (режим работы насосов предполагает непрерывный поток жидкости) в связи с выходом CO_2 в ствол скважины из продуктивного горизонта и попаданием его в гидравлическую часть насосных установок.

2. Гипс, образующийся в результате осаждения минерального осадка химической реакции, снижает пропускную способность фильтровой части обсадной колонны откачной технологической скважины. Кроме того, осадок также может осаждаться на поверхности деталей погружных насосных установок (рис. 2), что также является негативным обстоятельством, усложняющим процесс ПСВ.



Рис. 2. Гипс на поверхности погружных насосов

Для борьбы с подобным технологическим осложнением, как правило, используются методы ремонтно – восстановительных работ, предназначенных для восстановления регламентной производительности откачных технологических скважин.

По результатам опытных исследований, максимально эффективным средством для растворения гипсовых отложений является химическая обработка растворами бифторида аммония.

Бифторид аммония – это неорганическое химическое соединение с формулой NH_4HF_2 , которое представляет собой аммониевую соль фтороводородной кислоты (HF) и аммиака (NH_3). Это бесцветное кристаллическое вещество, которое является важным реагентом в химических и промышленно-технических процессах [2].

Физические свойства:

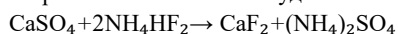
- Внешний вид: белые кристаллы или порошок.
- Растворимость: хорошо растворяется в воде, образуя кислотный раствор.
- Точка плавления: 135°C (применение в температурных диапазонах, не превышающих этой отметки).
- Гигроскопичность: влагоактивен, легко поглощает воду из воздуха.

Химические свойства:

- Реактивность: бифторид аммония является сильным источником фторид – ионов (F^-), которые могут активно реагировать с другими веществами, такими как кальций, магний, железо и многие другие металлы.
- Он обладает свойствами, аналогичными фтороводородной кислоте (HF), хотя и менее агрессивен в своих реакциях.

Химический процесс:

При взаимодействии бифторида аммония с гипсом происходит обмен ионными компонентами. Реакция приводит к образованию фторида кальция, который может быть легко удален:



Таким образом, гипс растворяется с образованием фторида кальция и аммониевых сульфатов.

При использовании растворов бифторида аммония, с целью определения оптимальных концентраций, целесообразно проведение опытов с различными вариантами концентраций. Это необходимо для рационального использования реагента, в связи с его высокой стоимостью.

Литература

1. Белецкий В.И. Справочник по геотехнологии урана / В.И. Белецкий, Л.К. Богатков, Н.И. Волков и др. – М.: Энергоатомиздат, 1997. – 672 с.
2. Василевская Е.И. Неорганическая химия: учебное пособие / Е.И. Василевская, О.И. Сечко, Т.Л. Шевцова – Минск: РИПО, 2015. – 247 с.

Текстура породы плотная, массивная. Порода представлена плагиоклазом, моноклинным пироксеном, оливином, магнетитом.

Оливин представлен субизометричными зернами размером до 0,2 мм. Только в ядерных частях стяжений видно, что это оливин, а в основном он замещен тёмно-зелёным хлоритом, серпентино-хлоритом и рудным веществом, от чего почти изотропен. Отмечается коррозия крупных кристаллов оливина, которые «разъедаются» проникающим в них стеклом. Слагает 15 % площади шлифа.

Клинопироксен представлен авгитом, и занимает до 25 % от объема породы, образует короткопризматические и неправильные зерна. Минерал почти всегда ксеноморфен по отношению к плагиоклазу. Вторичные изменения по клинопироксену отмечаются в виде хлоритизации. В скрещенных николях устанавливаются яркие цвета интерференции. Размер зерен от 0,1 до 0,2 мм.

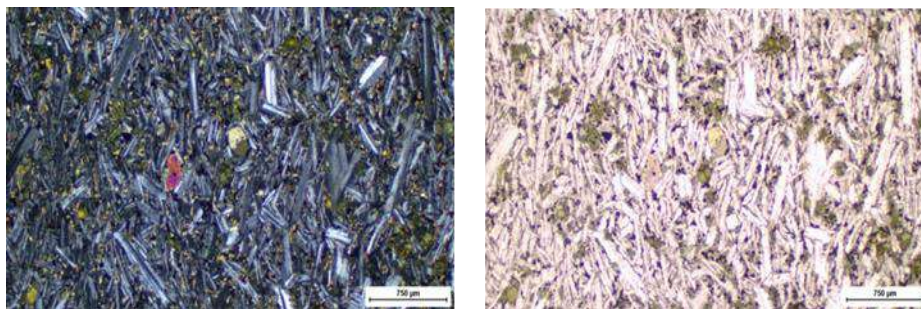


Рис. 2. Микродолерит (Палатнинско-белоосиновский комплекс). Структура порфировидная, долеритовая. Обр. 1 Барзас. Слева николи скрещены, справа – параллельны

Плагиоклаз является одним из главных минералов. Он присутствует как в порфировидных вкрапленниках, так и слагает основную массу породы. Вкрапленники обычно имеют призматическую и таблитчатую форму, а основная масса сложена вытянутыми лейстовыми призматическими зернами. Цвета интерференции серые, двойники полисинтетические. В одном николе минерал прозрачен. Вторичные изменения в плагиоклазе проявлены в виде серицитизации. Наблюдаются полисинтетические двойники. Размер вкрапленников плагиоклаза от 0,25 до 1,2 мм. Минерал слагает 55 % площади шлифа.

Магнетит представлен вкрапленностью субизометричной, либо неправильной по форме зерен, с размером до 0,1 мм. Слагает около 5 % площади шлифа.

Долерит (рис. 3) имеет полнокристаллическую структуру и черную окраску. Под микроскопом отчетливо устанавливается крупнозернистая, долеритовая, пойкилоофитовая структуры. Текстура породы плотная, массивная. Пойкилоофитовая структура породы обусловлена наличием крупных угловатых индивидов моноклинного пироксена, которые пронизаны многочисленными длиннопризматическими идиоморфными лейстами плагиоклаза. Порода представлена плагиоклазом, моноклинным пироксеном, оливином, магнетитом, карбонатом.

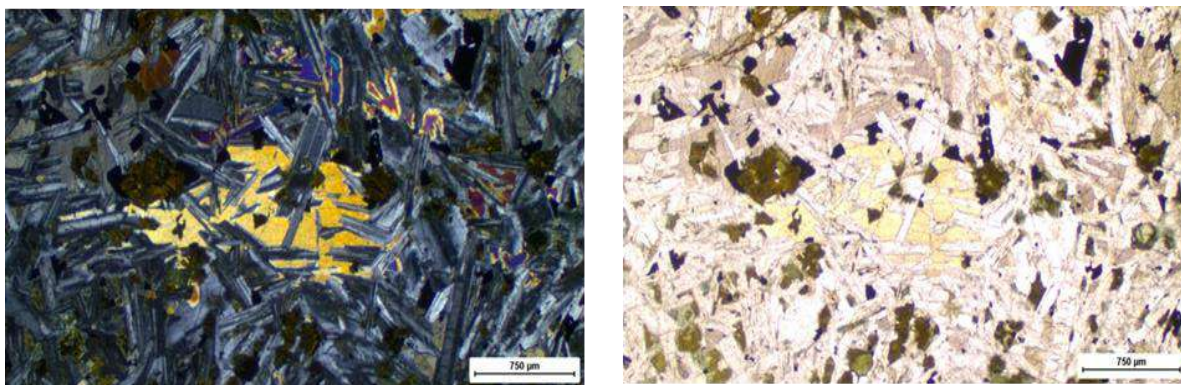


Рис. 3. Долерит (Палатнинско-белоосиновский комплекс). Структура долеритовая, пойкилоофитовая. Образец 3. Барзас. Слева николи скрещены, справа – параллельны

Оливин представлен субизометричными зернами размером до 0,25 мм. В одном николе оливин зеленоватого цвета и сильно трещиноват, в скрещенных николях темно-зеленая окраска. Замещается хлоритом, серпентино-хлоритом, магнетитом. Слагает 15 % площади шлифа.

Клинопироксен представлен авгитом и занимает до 25 % от объема породы, образует лапчатые зерна типа ойкокристаллов, в которых вдаются призматические зерна плагиоклаза. Минерал почти всегда ксеноморфен по отношению к плагиоклазу. В скрещенных николях устанавливаются яркие цвета интерференции. Размер зерен от 0,7 до 1,5 мм.

Плагиоклаз составляет основную массу породы и имеет призматическую или таблитчатую формы. Вторичные изменения в плагинклизе проявлены в виде процессов карбонатизации. Наблюдаются полисинтетические двойники. Размер вкрапленников плагинклиза от 0,4 до 1,5 мм. Минерал составляет 50 % площади шлифа.

Магнетит представлен вкрапленностью субизометричной, либо неправильной по форме зерен, с размером до 0,4 мм. Составляет около 10 % площади шлифа.

Литература

1. Гринев О.М. Рифтовые системы Сибири: методология изучения, морфотектоника, минералогия / О.М. Гринев. – Томск: STT, 2007. – 434 с.
2. Гринев О.М. Тувинско-Минусинско-Западносибирская рифтогенная система: геология, морфотектоника, минералогия / О.М. Гринев // Вестник ТГУ. – Томск: Изд-во Томск. ун-та, 2007. – № 299. – С. 185–193.
3. Гринев О.М. Минералогическо-петрографические и минералогические особенности девонских вулканитов Саралинского грабен-рифта (Кузнецкий Алатау) / О.М. Гринев, Р.Р. Адылбаев, А.С. Семиряков, Е.Н. Морозова // Динамика и взаимодействие геосфер Земли: материалы Всероссийской конференции с международным участием, посвященной 100-летию подготовки в Томском государственном университете специалистов в области наук о Земле. Томск, 08–12 ноября 2021 г. – Томск, 2021. – Т. 1. – С. 243–245.
4. Куртигешев В.С., Бычков А.И., Шатилова Г.А. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. Издание второе. Серия Кузбасская. Лист N-45-III (Кемерово). Объяснительная записка. – М.: МФ ВСЕГЕИ, 2013. – 159 с.

ОСОБЕННОСТИ УСЛОВИЙ ОБРАЗОВАНИЯ ГИДРОТЕРМАЛЬНО-ИЗМЕНЕННЫХ ПОРОД И РУД МЕСТОРОЖДЕНИЯ СЕВЕРНОЕ (ЭЛЬКОНСКИЙ РУДНЫЙ РАЙОН, ЮЖНАЯ ЯКУТИЯ)

Готфрид Н. С.

Научный руководитель профессор Е.Г. Языков

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Месторождение Северное находится в области тектономагматической активизации Алданского щита, в пределах Эльконского рудного района. Месторождение названо по тектонической структуре, с которой пространственно и генетически связано, имеющее северо-западное простирание и залегает в северной части Эльконского горста. В 2,5 км к югу располагается месторождение зоны Южной, что подчеркивает структурно-геологическую сопряженность рудоносных объектов региона.

Эльконский урановорудный район (Центрально-Алданский район) расположен в центральной части Алданского щита и является частью Алдано-Тимптонского мегаблока. Его геологическое строение включает три структурных этажа: нижний этаж – фундамент, сложенный ультраметаморфическими и метаморфическими комплексами, сформировавшимися в позднем архее – раннем протерозое; средний этаж – рифей-нижнекембрийские терригенно-карбонатные толщи федоровской серии; верхний этаж – мезозойские грабены, содержащие юрские угленосные отложения, а также вулканоплутонические комплексы щелочных пород и гранитоидов. Район сформировался при мезозойской тектономагматической активизации, сопровождавшейся блоковыми движениями, образованием горстов и грабенов [3].

Золотоурановое оруденение месторождений Северное, Южное, Снежное и ряда других в Эльконском рудном районе связано с древними тектоническими структурами, заложенными в раннем протерозое и многократно активизированными в последующие эпохи. Разломные зоны этих структур характеризуются сложными гидротермально-метасоматическими изменениями различного возраста и состава, среди которых выделяются: хлорит-серицит-альбитовые, пирит-карбонат-калишпатовые («гумбеиты» или «элькониты»), березитовые, пропиловитовые, фенитовые, кварц-полевошпатовые метасоматиты. В мезозое на фоне внедрения щелочных гранитоидов сформировались зоны кварц-серицит-пиритовых и пирит-карбонат-калишпатовых метасоматитов. Хотя они классифицируются как гумбеиты (по А.Ф. Коржинскому), по составу они существенно кварцевые. Из-за их широкого распространения и особенностей Г.Н. Пилипенко предложил выделять их в самостоятельный тип – элькониты (по названию Эльконского горста). Именно с эльконитами связано основное золотоурановое оруденение, представленное минералами браннеритом, коффинитом и золотосодержащим пиритом [4, 5].

В мезозойскую эру (юра – мел) Алданский щит характеризовался активной тектоно-магматической деятельностью, включавшей сводовые поднятия, рифтогенные долины, блоковые движения и интенсивный калиево-ультракалийевый магматизм. Эти процессы способствовали формированию крупных месторождений золота, серебра, урана, молибдена и других полезных ископаемых, тесно связанных с метасоматическими изменениями пород как пространственно, так и генетически.

Центрально-Алданский район характеризуется четырьмя золотопродуктивными метасоматическими формациями: гумбеитовая, серицит-микроклиноватая, джаспероидная, аргиллизитовая [2].

Формирование гидротермально-метасоматических пород происходило в два этапа: протерозойский – образование безрудных хлорит-серицит-альбитовых метасоматитов; мезозойский – формирование пирит-карбонат-калишпатовых метасоматитов с урановой и молибденовой минерализацией, а также кварцевых жил.

В длительном гидротермальном процессе выделяются 5 стадий минералообразования.

К протерозойскому этапу относится единственная стадия – эпидот-хлорит-альбитовая, все последующие характеризуют мезозойский этап.

I. Эпидот-хлорит-альбитовая стадия (или мусковит-хлоритовая ассоциация) характеризуется слабым замещением плагиоклаза такими минералами, как мусковит, серицит, гематит, карбонат, пирит и эпидот. Также наблюдается развитие псевдоморфоз темноцветных минералов, таких как хлорит, актинолит-тремолит, серпентинит и тальк. Пирит, образующийся в этой стадии, по результатам исследований, не является золотоносным.

Мезозойский этап связан с формированием пирит-карбонат-калишпатовых метасоматитов (гумбеитов или эльконитов), концентрирующих на IV (флюорит-карбонат-кварцевой) и V (каолинит-гидрогетитовой) стадиях основную массу золота рудного района.

II. Пирит-карбонат-калишпатовая стадия включает две основные ассоциации (пирит-адулярная и пирит-адулярно-карбонатная ассоциации). Пирит-адулярная ассоциация, характеризующаяся замещением полевых шпатов (плагиоклаза, микроклина) и темных минералов с образованием адулярно-пиритовых псевдоморфоз. Этот процесс сопровождается выделением серицита, каолинита, гидрослюда и карбонатов. Ассоциация встречается в ортогнейсах и лейкократовых гранитах. Пирит-адулярно-карбонатная ассоциация, в которой преобладают карбонаты (анкерит, доломит, кальцит) и развивается в плагиосланцах, гранитизированных сланцах и ортогнейсах. В метасоматитах наблюдается зональность, выделяются три зоны: внутренняя, промежуточная и внешняя.

III. Браннеритовая (урановорудная) стадия, связана с небольшим брекчированием и выделением колломорфного браннерита, который часто изменен пострудными процессами и представлен рыхлыми продуктами, включая урановые слюдки. В небольшом количестве встречаются анатаз и незолотоносный пирит.

IV. Флюорит-карбонат-кварцевая стадия, включает две ассоциации: кварцевая, проявленная слабо в виде тонких прожилков серого кварца, локальных швов брекчий с кварцевым цементом и вкрапленников в пустотах; флюорит-карбонатная, более интенсивно развитая, представлена прожилками и вкрапленниками флюорита, адуляра и карбонатов. С этой стадией связана локализация свободного (самородного) золота, имеющие размеры около 0,02 мм. Данные проявления выделяются участками первичных руд с повышенными содержаниями золота (свыше 10 г/т) и самородного серебра (до 30...100 г/т).

V. Каолинит-гидрогетитовая стадия, гипергенная, связана с выщелачиванием и окислением. Формируются каолинит, гидрогетит, гидрогематит, пиролюзит, урановые слюдки. Каолинит развивается по слюдам и полевым шпатам, а гидрогетит и гидрогематит замещают пирит и магнетит. В зонах разломов (до 200 м глубины) повышается пористость, что способствует формированию самостоятельных золотых руд с попутным серебром и ураном. Фазовый анализ подтверждает наличие свободного золота и серебра в окисленных рудах [7].

Исследователи В.А. Абрамов (1994) и В.Е. Бойцов (2006) предложили двухстадийную модель формирования золото-уранового оруденения, включающую рудоподготовительный и рудоформирующий этапы.

Рудоподготовительный этап. В раннем протерозое в Алданском щите формировались длительно активные разломы, сопровождаемые милонитизацией и катаклизмом. В этих структурах развивались кремнещелочные метасоматиты (1924 ± 10 млн лет) с радиогеохимической специализацией. Периферийные зоны сложены пропилитами хлорит-эпидотового состава. В мезозое в пределах Эльконского рудного узла произошла тектоно-магматическая перестройка, обусловившая формирование ортогональной сети разломов, интрузию мезозойских магматических комплексов (157,5–116,2 млн лет) и интенсивное развитие метасоматических процессов. В северо-западном блоке сложились фенитовые и скарновые ореолы, а также поздние щелочно-амфиболовые пропилиты, отражающие многостадийность метасоматической эволюции региона.

Рудоформирующий этап включал две последовательные стадии:

Первая стадия (142 ± 5 – 152 ± 6 млн лет) характеризовалась формированием гумбеитов Эльконского типа в осевых зонах разломов под воздействием глубинных гидротерм. Эти гумбеиты накладывались на более ранние кварц-полевошпатовые метасоматиты и пропилиты, отражая сложную последовательность метасоматических преобразований. Формирование гумбеитов происходило при температуре 400–250 °C в кислых условиях. По мере охлаждения флюидов (до 150 °C) среда становилась щелочной и восстановительной, что сопровождалось падением давления с 1,2 до 0,3 кбар. Рудообразование включало два этапа: ранняя фаза – осаждение золота на восстановителях (Fe^{2+}); поздняя фаза – образование микробрекчий при сбросе давления с цементом из титаната урана. Основные рудные минералы данной стадии: золотосодержащий пирит, браннерит, коффинит. Процесс происходил в закрытой или полужакрытой гидротермальной системе, что сопровождалось дегазацией флюидов и разрушением гидросульфидных комплексов, содержащих золото. Завершающим этапом стало образование березитов в зонах древних разломов.

Вторая стадия ($129,1 \pm 1,2$ млн лет) связана с формированием гумбеитов рябинового типа при поступлении гидротермальных растворов из промежуточного магматического очага. Они наложались на фениты, щелочно-амфиболовые пропилиты и гумбеиты Эльконского типа. Формирование проходило в условиях брекчирования (310–370 °C) и осаждения рудных компонентов (220–280 °C, 0,3–0,6 кбар) с поздним выделением кварца и флюорита (160 °C). Главный рудообразующий фактор – резкий сброс давления при тектонических нарушениях [1, 6].

Таким образом, были проанализированы работы предыдущих исследователей, связанные с изучением условий образования гидротермально-измененных пород и руд месторождения Северное, а также по ряду других месторождений Эльконского рудного района. По результатам проведенных геологоразведочных работ 2009–2012 гг. были окончательно выделены стадии гидротермального минералообразования. На основе геолого-генетической модели и комплекса исследований, проведенных В.А. Абрамовым и В.Е. Бойцовым, были выделены два типа гумбеитизации, различающихся по типам оруденения: эльконский (Au, U), рябиновый (Au-Cu) и комбинированный элькон-рябиновый (Au-Cu+Au-U). Если данными исследованиями были раскрыты вопросы условий образований руд в основном Au-U оруднения, то генезис серебра на месторождении Северное и всего Эльконского рудного района до сих пор полностью не раскрыт.

Литература

1. Бойцов В.Е. Модель формирования комплексных золото-урановых месторождений Центрально-Алданского рудного района / В.Е. Бойцов, Г.Н. Пилипенко, Л.А. Дорожкина // Известия вузов. Геология и разведка. – 2006. – № 2. – С. 23–31.
2. Дворник Г. Золоторудные метасоматические формации Центрально-Алданского района // Литосфера. – 2012. – № 2. – С. 90-105.
3. Зайченко А.П., Домаренко В.А. Особенности строения рудовмещающей структуры комплексного золото-уранового месторождения Северное (Эль-конский рудный район, Южная Якутия) // Разведка и охрана недр. – 2015. – № 7. – С. 7-11.
4. Каждан А.Б. О рудоконтролирующей роли глубинных меридиональных разломов в Эльконском урановорудном районе (МГРИ) / А.Б. Каждан, Р.М. Булыгин, Л.П. Кашеев // Информационный сборник: материалы по геологии урановых месторождений. – М.: ФГУП ВИМС, 1969. – Вып. 6. – С. 27-36.
5. Отчет «Технико-экономическое обоснование постоянных разведочных кондиций и подсчет запасов золота и попутных компонентов уранового месторождения Северное по состоянию на 01.07.2022 г.» / Данилов А.А., Гласс И.Д., Фомин В.Ю. и др. – Москва: ООО «ГРП», 2022. – 156 с.
6. Пилипенко Г. Н. О метасоматитах формации эльконитов, вмещающих крупнейшее золото-урановое оруденение, и об их отличии от гумбеитов: Материалы совещания “Физико-химические факторы петро-и рудогенеза” М // Физико-химические факторы петро-и рудогенеза: новые рубежи: матер. конф. – 2009. – С. 312.
7. Терехов А.В. и др. Два типа рудоносных гумбеитов Эльконского золото-урановорудного узла (Южная Якутия) // Региональная геология и металлогения. – 2014. – № 60. – С. 71-86.

РОЛЬ ЛИТИЯ В ПЕРЕХОДЕ К НИЗКОУГЛЕРОДНОЙ ЭКОНОМИКЕ

Дибров А.М.¹, Диброва Ю.А.²

**¹Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
г. Томск, Россия**

²Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Литий является редкоземельным металлом, который обладает широким спектром применений в таких областях, как производство стекла, керамики, фармацевтических препаратов, мобильных телефонов, ноутбуков, аккумуляторов для электромобилей и др.

Ускоряющийся переход на низкоуглеродные источники энергии, а также глобальная приверженность декарбонизации вызывают растущий спрос на мировом рынке лития. В 2023 году мировое потребление лития выросло на 27 % и составило 180 000 тонн по сравнению со 142 000 тоннами в 2022 году [1]. Отметим, что 87 % спроса на литий в 2023 году обусловлено производством литий-ионных аккумуляторов. Важно подчеркнуть, что литий-ионные аккумуляторы намного легче других типов аккумуляторных батарей того же размера и обладают высокой плотностью энергии (могут накапливать больше энергии, чем другие аналоги). Кроме того, литий-ионные аккумуляторы способны выдерживать тысячи циклов зарядки и разрядки, что обеспечивает длительный срок службы.

Итак, определим основные факторы спроса на мировом рынке лития:

1. Рост производства электромобилей во всем мире является ключевым фактором для мирового рынка лития. Поскольку потребители все больше отдают предпочтение чистой энергии и экологичности, спрос на литий-ионные аккумуляторы для электромобилей продолжает значительно расти.

2. Литий играет важную роль в системах хранения (накопления) энергии. Например, в использовании гибридной или смешанной генерации энергии, с дополнением и постепенной заменой углеродсодержащих источников энергии на возобновляемые (энергия ветра, воды и Солнца). Применение накопителей энергии на основе литий-ионных аккумуляторов может помогать сглаживать неравномерности производства и потребления, предоставлять резерв мощности, а также обеспечивать аварийное питание при чрезвычайных ситуациях.

3. Переход стран к экологически чистой энергии способствует росту мирового спроса на литий.

4. Технологические усовершенствования и повышение эффективности работы литий-ионных аккумуляторов расширяет их применение в различных отраслях экономики, стимулируя спрос на литий.

5. Правительственные инициативы, поощряющие использование электромобилей и экологически чистой энергии, часто стимулируют рынок лития. Государственные инициативы, субсидии, нормативные акты в области устойчивого развития способствуют более широкому применению литий-ионных аккумуляторов, стимулируя рост мирового рынка лития.

6. Повсеместное использование литий-ионных аккумуляторов в такой бытовой электронике, как смартфоны, ноутбуки и носимые устройства, поддерживает постоянный спрос на литий. Легкий вес и высокая плотность энергии лития делают его идеальным для питания портативных устройств.

7. Растущие темпы индустриализации и урбанизации во всем мире стимулируют спрос на литий в различных областях применения. Универсальность лития делает его важнейшим компонентом в различных сегментах - от питания промышленного оборудования до резервного энергоснабжения «умных» городов.

По оценкам Геологической службы США (USGS), мировое производство лития в 2023 году выросло на 23 % и составило порядка 180 тыс. тонн. Ожидается, что из-за растущего спроса на литиевые изделия производство лития удвоится к концу 2028 года [2].

Также важно отметить, что развитие литиевой промышленности может стимулировать снижение стоимости и улучшение технических характеристик литий-ионных аккумуляторов.

Однако стремительный рост спроса на литий поднимает серьезные проблемы, связанные с ESG, добычей, цепочками поставок, утилизацией и вторичной переработкой металла.

Важно понимать, что добыча природных ресурсов может наносить серьезный вред не только окружающей среде (деградация почвы, загрязнение грунтовых вод и воздуха, а также негативное воздействие на биоразнообразие), но и иметь негативные социальные последствия.

Сегодня горнодобывающим компаниям необходимо проявлять особое внимание к тому, как они справляются с социально-экологическими проблемами, а также в какой степени они информируют о своих усилиях по их решению стейкхолдеров и общество в целом.

Процесс производства литий-ионных аккумуляторов требует строгого контроля качества. Например, ошибки в проектировании и производстве могут привести к серьезным сбоям в работе литий-ионных батарей, которые могут привести к взрывам, пожарам, опасным испарениям и др. Поэтому производители должны должным образом реализовывать меры для поддержания высокого контроля качества, применения соответствующих контрольных мер по проектированию и предотвращения дефектов в процессе производства литий-ионных аккумуляторов.

Итак, мировой спрос на литий растет экспоненциально не только из-за технологического развития, но и из-за экологических норм, которые направлены на сокращение выбросов парниковых газов, вызываемых автомобилями, работающими на ископаемом топливе [3].

Также важно отметить, что растёт интерес к извлечению лития из вторичных ресурсов, например, из пластовых вод. Сегодня необходимо диверсифицировать источники добычи лития, ведь это может повысить его предложение на мировом рынке. Извлечение лития из отходов различных производств, активное внедрение методов вторичной переработки являются мероприятиями, которые полностью отвечают концепции устойчивого развития.

Глобальный спрос на литий будет трудно удовлетворить, если не будут использованы альтернативные источники его извлечения. Инвестиции в инновации являются важнейшим фактором, способствующим разработке новых технологий извлечения лития и обеспечению его устойчивых поставок.

Литература

1. Mineral commodity summaries 2024: U.S. Geological Survey, 2024. 110 p. Available at: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2024/mcs2024-lithium.pdf> (accessed 12 February 2024)
2. Research and markets. The world's largest market research store Available at: <https://www.researchandmarkets.com/reports/5530906/lithium-mining-global-markets> (accessed 16 February 2024)
3. Qiao D., Wang G., Gao T., Wen B., Dai, T. Potential impact of the end-of-life batteries recycling of electric vehicles on lithium demand in China: 2010–2050. Sci. Total Environ. 2021, 764 p.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛАБОРАТОРНОГО МЕТОДА ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ В ТРУБКАХ

Есжанова Д.А.

Научный руководитель профессор Е.Г. Языков

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Целью работ является проведение лабораторных опытов по сернокислотной схеме выщелачивания урана и получение выходных данных геотехнологических параметров для подземного выщелачивания: установление зависимости концентраций урана в выходных технологических растворах и степени его извлечения из руды. В статье представлены результаты лабораторных (технологических) исследований по фильтрационному выщелачиванию урана (рис. 1) из руды месторождения «Инкай», участка № 1, мынкудукского и инкудукского рудоносных горизонтов.

Метод подземного скважинного выщелачивания (ПСВ) урана – это способ добычи урана из месторождений, при котором уран извлекается непосредственно из недр без подъема руды на поверхность. Этот метод считается менее вредным для окружающей среды по сравнению с традиционной шахтной добычей.

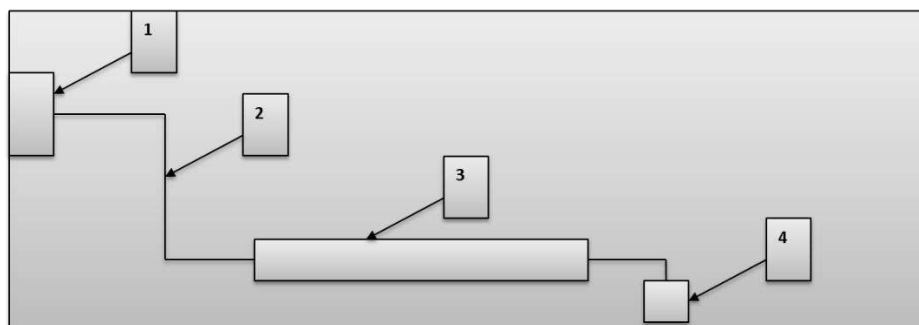


Рис. 1. Схема лабораторной установки для проведения работ по фильтрационному выщелачиванию: 1 – сосуд Мариотта, 2 – соединяющий шланг, 3 – фильтрационная трубка с рудой, 4 – приемная емкость

Проведение опытов по выщелачиванию урана в лабораторных условиях подразделяется на 2 этапа:

- стадия отмывки водой;
- стадия собственно выщелачивание.

Для изучения фильтрационных свойств рудоносных и безрудных песков в процессе выщелачивания проводят обычно на колонках длиной 0,5 м несколько опытов с различной концентрацией реагента. Иногда это дает достаточно убедительный материал и для вывода об использовании более низкой концентрации или применении другого реагента [1].

По каждой технологической пробе проводятся три опыта с различным режимом подачи раствора серной кислоты (таблица).

Таблица

Стадия «собственно выщелачивание»

№ опыта	Концентрация H_2SO_4 в ВР, г/дм ³	pH	Eh, мВ	Режим подачи ВР
Опыт 1	5	1,27	289	До 1 порового объема загруженной трубки
Опыт 4	10	0,97	360	До 1 порового объема загруженной трубки
Опыт 7	15	0,81	403	До $pH \leq 2$
Опыт 10	5	1,27	289	До достижения максимального извлечения урана и минимальной концентрации урана в ПР
Опыт 13				
Опыт 2	5	1,27	289	До 0,5 порового объема загруженной трубки
Опыт 5	10	0,97	360	До 0,5 порового объема загруженной трубки
Опыт 8	15	0,81	403	До 1 порового объема загруженной трубки
Опыт 11	20	0,75	413	До $pH \leq 2$
Опыт 14	5	1,27	289	До достижения максимального извлечения урана и минимальной концентрации урана в ПР
Опыт 3	10	0,97	360	До 0,5 порового объема загруженной трубки
Опыт 6	15	0,81	403	До 0,5 порового объема загруженной трубки
Опыт 9	20	0,75	413	До 1 порового объема загруженной трубки
Опыт 12	25	0,69	385	До $pH \leq 2$
Опыт 15	5	1,27	289	До достижения максимального извлечения урана и минимальной концентрации урана в ПР

При применении выщелачивающих растворов с более высокой концентрацией серной кислоты:

- увеличивается средневзвешенная концентрация урана в ПР (рис. 2);
- уменьшается отношение Ж:Т (рис. 3);
- увеличиваются удельные расходы кислоты (пример на пробе 5Т) (рис. 4);
- увеличивается время извлечения 90 % урана.



Рис. 2. Средневзвешенная концентрация урана в ПР

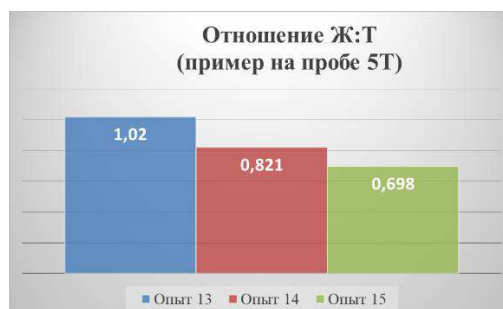


Рис. 3. Отношение Ж:Т

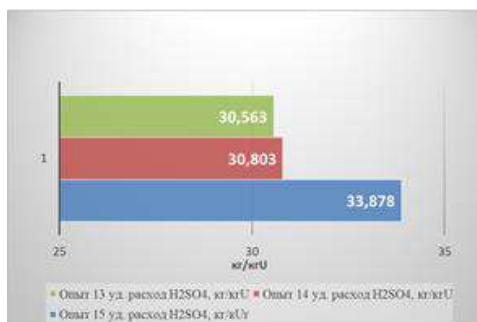


Рис. 4. Расходы кислоты

Выводы:

1. Основная масса урана извлечена на стадии «закисления». На момент зафиксированного появления в продуктивном растворе свободной серной кислоты извлечение урана составляет около 90 или более процентов.
2. При взаимодействии породы с растворами серной кислоты из-за газовой и химической коагуляции, значительно ухудшается проницаемость породы. При воздействии на руду выпелачивающего раствора с более высокой концентрацией серной кислоты химическая коагуляция проявляется сильнее. После максимального снижения значения коэффициента фильтрации фильтрационные свойства руды начинают восстанавливаться. [2]
3. Структурно-совершенный каолинит достаточно инертен к воздействию сернокислотных растворов. Кислотное воздействие приводит к нарушению структуры и физико-химических свойств монтмориллонита. Наиболее структурно-совершенный и менее дисперсный монтмориллонит разрушается медленнее. В результате обмена катионов Ca^{2+} на Mg^{2+} Na^{+} происходит диспергация кристаллитов монтмориллонита вплоть до коллоидного состояния, вынос октаэдрических катионов Fe^{3+} , Al^{3+} , вынос кремния из состава тетраэдрической сетки, с образованием коллоидных гидроокисей железа, алюминия, кремнегеля, т.е. при кислотном воздействии на пески, разрушение монтмориллонита происходит до образования аморфных продуктов, что значительно ухудшает фильтрационные свойства породы.

Литература

1. Белецкий В. И. и др. Справочник по геотехнологии урана // М.: Энергтоиздат. – 1997. – Т. 672.
2. Уран. Методы его определения / Марков В. К. – М.: Атомиздат, 1960. – 149 с.

**НОВЫЕ ДАННЫЕ О РЕДКОЙ Sb-AG МИНЕРАЛИЗАЦИИ САРАЛИНСКОГО
МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗОЛОТА НА ПРИМЕРЕ ЖИЛЫ КАСКАДНАЯ
(РЕСПУБЛИКА ХАКАСИЯ, РОССИЯ)**

Жукова А.Л., Мавлютова А.Р., Якич Т.Ю.

Научный руководитель доцент Т.Ю. Якич

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Жила Каскадная Саралинского месторождения золота представляет собой эталонный объект мирового значения и несмотря на изученность выдающимися исследователями-геологами как нашего университета начиная со времен Обручева В.А., Усова М.А., Баженова В.И., продолжая современниками: Коробейников А.Ф., Пшеничкин А.Я., Кныш С.К., Черняев Е.В., так и другими организациями (КИЦМ, СНИИГТиМСа, ОИГГМ СО РАН, Института геохимии СО РАН, ИРГИРедмета и др.) многие вопросы генезиса и особенностей минералообразования жилы остаются открытыми и актуальными до сих пор, что обусловлено с одной стороны сложностью и полистадийностью геологического строения жилы, так и появлением более прецизионных современных методов диагностики вещества [1-2].

Саралинский рудный узел (~ 350 км²) приурочен к овальной вулканотектонической структуре, сложенной комплексами океанической коры, в зоне северо-западных (субмеридиональных) разрывных структур среза поля (V-Є1) карбонатных толщ. Он отличается от других площадей развития золотого оруденения в Кузнецком Алатау практически полной локализацией рудоносных структур в полях вулканогенно-осадочных толщ [4]. Ряд авторов [3] связывает золотое оруденение с гранитоидами батолитов пестрого состава и относят золотое оруденение к позднеколлизийному этапу развития территории (O-S). В региональном плане Саралинское рудное поле приурочено к восточному крылу Кузнецко-Алатаусского трансформного разлома. Кузнецко-Алатаусский разлом является долгоживущей разрывной структурой, развивающейся в период с венда по девон на шельфовой окраине Сибирского палеоконтинента.

Жила Каскадная открыта в дореволюционное время и с 1955 г. по 1993 г. являлась наряду с Андреевской, Ивановской и Встречной основным источником золота Саралинского рудного поля (общ. кол-во металла, добытого за указанный период, составило ~ 37 т.) [4]. Жила Каскадная протяженностью около 2500 м, ср. сод. Au ~ 8.4 г/т, мощностью от 0.5–4.0 м приурочена к зоне смятия, связанной с Саралинским глубинным разломом, и сложена преимущественно кварцем, арсенопиритом и пиритом, на фоне незначительного количества сфалерита и галенита (менее 5 об. % сульфидов). Для жил Саралинского рудного поля характерна проба золота ~ 680–760 ‰ [5]. В исследуемых авторами образцах некондиционных руд золота представлено электрумом со средней пробой ~ 550 ‰.

В рамках проведения научно-исследовательских работ Государственного задания Наука № FSWW-2023-0010, тема «Комплексные исследования на базе природных геологических лабораторий» была изучена серия образцов, любезно предоставленных для изучения Черняевым Е.В. в Томском Национальном исследовательском политехническом университете (г. Томск) породы проанализированы при помощи сканирующего электронного микроскопа TESCAN VEGA 3 SBU с энергодисперсионным анализатором (ЭДС) OXFORD X-Max 50 с Si/Li кристаллическим детектором, при ускоряющем напряжении 20 кВ и токе зонда 4–11.5 нА с предварительной калибровкой интенсивности зонда (11.4–11.5 нА) по кобальтовому стандарту, фокусное расстояние 15 мм.

Впервые в пределах жилы Каскадной авторами установлены такие редкие минералы, как *гудмундит* ($\text{Fe}_{1.01-1.03}\text{Sb}_{0.97-0.99}\text{S}_{0.97-0.99}$) и *алларгентум* ($\text{Ag}_{1.90-2.05}\text{Sb}_{0.74-0.83}\text{Au}_{0.2-0.27}$), не упомянутые в пределах жилы ранее. В совместной с *алларгентумом* минеральной ассоциации устанавливается *самородная сурьма* и продукты ее окисления в виде *сервантита*, ассоциирующие с игольчатым *акантитом* и *Se-галенитом* (рис.).

По взаимоотношению перечисленной минеральной ассоциации с халькопиритом создается впечатление о ее наложенном характере, более позднем по отношению к сульфиду меди и железа (рис. А-Г, Ж).

Гудмундит и *арсенопирит* выступают в виде изоструктурных аналогов, однако *арсенопирит* встречается в природе намного чаще, нежели *гудмундит*. Его присутствие говорит о важной роли сурьмы в рудообразующей системе жилы Каскадная наравне с мышьяком и, возможно, отражает вертикальную зональность жилы. *Алларгентум* – ещё более редкий минерал, указывающий на восстановительные условия и высокую концентрацию серебра, характерную для верхних частей гидротермальных месторождений. Особенностью *галенита* ($Pb_{0.88-1.03}Ag_{0.0-0.2}S_{0.62-0.88}Se_{0.1-0.3}$), который тесно ассоциирует с названной минерализацией и *электрумом* (рис.) является его обогащение селеном (до 9.6 вес. %). Селен (Se), замещая серу в галените, указывает на специфику состава флюида, возможно, связанную с вулканогенными аппаратами, аналогично современным эпитермальным месторождениям золота Камчатки [6] и Дальнего Востока [7] и также накапливается в верхних частях рудно-гидротермальных систем.

Формы нахождения трехвалентных полуметаллов Sb и As в восстановленных до Sb^{-1} в *самородной сурьме* и *гудмундите*, а также As^{-1} в *арсенопирите* (рис.) указывает на восстановленный характер флюидов в процессе формирования изучаемых образцов. Также присутствие такого редкого минерала как *алларгентум* указывает в пользу предположения о восстановительных условиях формирования изученной минерализации. По всей видимости, данная ассоциация могла сформироваться из остаточного флюида при более низких температурах ($\leq 280^{\circ}C$), нежели основная часть минерализации мезотермального продуктивного этапа с высокопробным золотом.

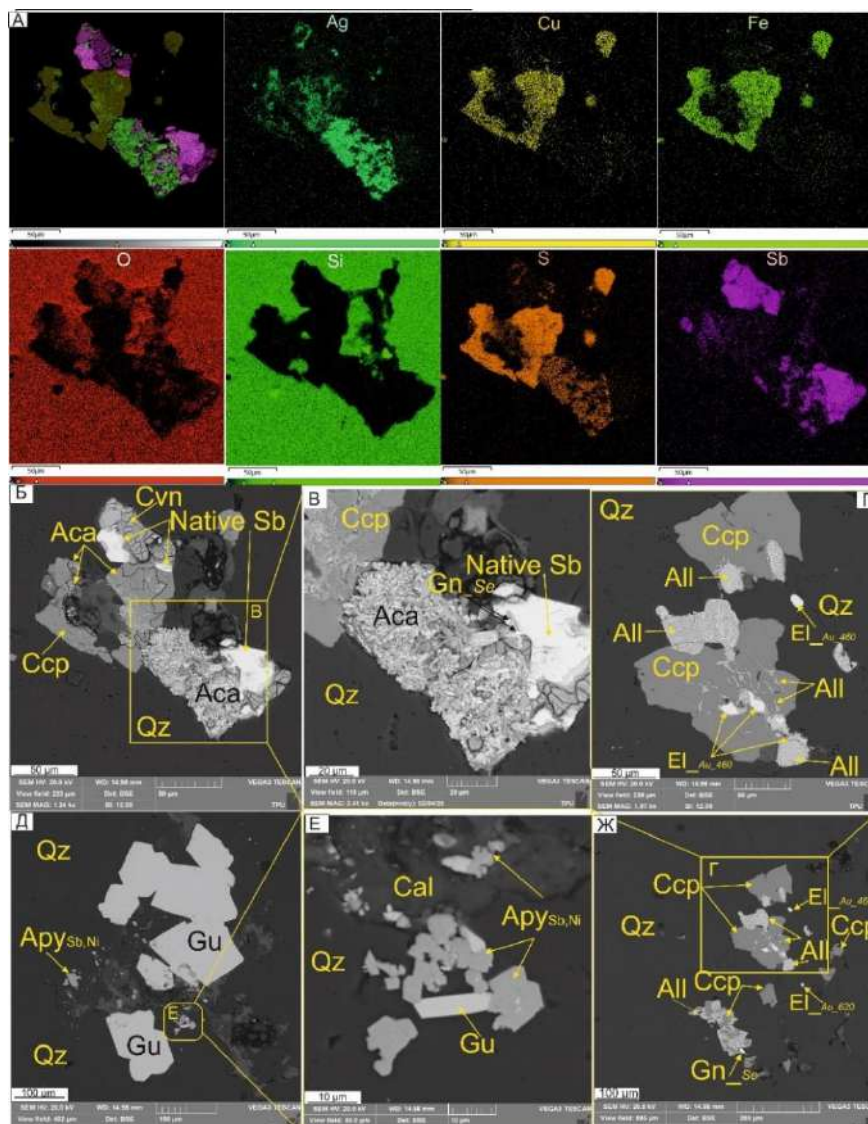


Рис. Микрофотографии (изображения SEM-BSE) и мультиэлементная карта состава рудной минерализации жилы Каскадная в кварце (Qz) (Саралинское месторождение) демонстрирующие, совместную ассоциацию самородной сурьмы (Native Sb) и продуктов ее окисления в виде серпентита (Cyn) с изольчатый акантитом (Aca), халькопиритом (Ccp) и Se-галенитом (Gn_Se) (А-В); алларгентум (All), развивающийся по халькопириту и электруму (El_460) (Г-Ж); совместная ассоциация кристаллов гудмундита (Gu) и арсенопирита с примесью сурьмы и никеля (ApySb,Ni) (Д-Е). Cal – кальцит, Qz – кварц

Акантит кристаллизующийся в моноклинной сингонии (класс 2/m), стабилен еще при более низких температурах ниже 173 °С. Содержание в *галените* серебра и замещение серы селеном подтверждают предположение о близповерхностных условиях и малом уровне эрозионного среза в местах отбора исследуемых образцов, характеризующих верхнюю часть единой рудно-гидротермальной системы жилы Каскадная.

Исследования выполнены в рамках Государственного задания Наука № FSWW-2023-0010 «Комплексные исследования на базе природных геологических лабораторий».

Литература

1. Алабин Л.В. Металлогения золота Кузнецкого Алатау: дис. – Ин-т геологии, 1998.
2. Зоненшайн Л. П. Тектоника литосферных плит территории СССР: в 2-х кн. Кн. 1. – Недра, 1990.
3. Кузнецов Ю.А. и др. Раннепалеозойская гранитоидная формация Кузнецкого Алатау. – Izdatel'stvo" Nauka", 1971.
4. Саралинское рудное поле: Геология, минерально-сырьевая база, перспективы развития. // Е.В. Черняев, Е.И. Черняева, В.Л. Кошкарёв, А.Д. Андреев, Ю.Н. Шишкин // Региональная геология, геология месторождений полезных ископаемых. Материалы международной научно-технической конференции «Горно-геологическое образование в Сибири. 100 лет на службе науки и производства». Томск, изд-во ТПУ. – 2001. – с. 372-378.
5. Широких, И.Н., Росляков, Н.А., Сотников, В.И., Васильков, А.С. Саралинский золоторудный узел кузнецкого Алатау // Науч. ред. чл.-кор. РАН Г. В. Поляков. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГГМ, 1998. – 236 с.
6. Якич Т. Ю. и др. Особенности вещественного состава и условия формирования медной минеральной ассоциации Бараньевского эпitherмального месторождения (Центральная Камчатка) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2022. – Т. 333. – № 12. – С. 74-87
7. Yakich T.Y. Mineralogy of the Svetloye epithermal district, Okhotsk-Chukotka volcanic belt, and its insights for exploration / T.Y. Yakich, Y.S. Ananyev, A.S. Ruban, R.Y. Gavrillov, D.V. Lesnyak, D.V. Levochskaya, O.V. Savinova, M.A. Rudmin // Ore Geology Reviews. – 2021. – V.136. 104257.

ПРОБЛЕМА ВЗАИМОСВЯЗИ МЕЖДУ СОДЕРЖАНИЯМИ ГЛИНОЗЕМА, ТОПАЗА И ЗОЛОТА НА МЕСТОРОЖДЕНИИ «КОПНА»

Исаков М.

Научный руководитель профессор В.Г. Ворошилов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Объектом исследования является месторождение «Копна» – одно из самых уникальных в мире. Согласно литературным источникам, на долю месторождения «Копна» приходится 96% известных мировых запасов технического топаза, что составляет около 25 миллионов тонн. Эти топазы являются исходным материалом для производства муллита и муллитовых изделий [1].

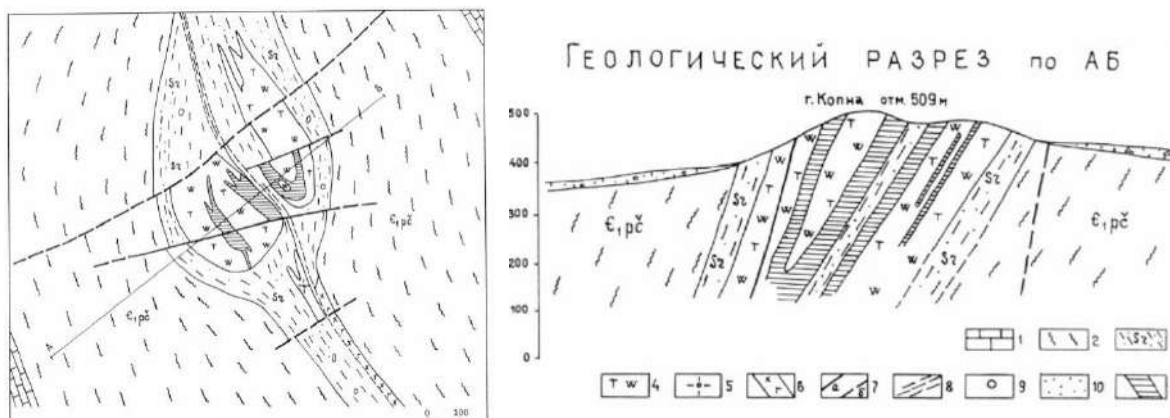


Рис. 1. Геологическая схема месторождения «Копна» (по материалам Агеенко Н.Ф. и др. [2]). 1 – известняки анчевской свиты (Єіап) с прослоями туфопесчаников; 2 – сланцы кварц-серецит-хлоритовые, кварц-альбит-хлоритовые, хлорит-глинистые (Єірс); 3 – сланцы кварц-серецитовые; 4 – кварциты топазовые; 5 – кварцевые и липаритовые порфиры субвулканические; 6 – габбро-диориты дайковые; 7 – тектонические нарушения: а – установленные, б – предполагаемые; 8 – тектоническая зона дробления и расщеливания; 9 – окварцевание; 10 – пиритизация; 11 – золотоносные зоны

Для разработки месторождения необходимо решить ряд проблем: в первую очередь необходимо провести детальные геологические исследования участка, подтвердить объемы и кондицию запасов полезных ископаемых, поскольку в ряде случаев сведения, заявленные на основе геологической разведки еще советских времен, далеки от реальности. Затем нужно задействовать лучший научно-исследовательский потенциал, в нашей стране не было столь серьезного производства муллита [1].

Месторождение является комплексным и содержит промышленные концентрации золота. Цель настоящей работы – установить взаимосвязь между содержаниями глинозема, топаза и золота на месторождении Копна. Использованные методы: корреляционный и регрессионный анализы, сравнение выборок с помощью непараметрических критериев.

Определяющей структурой района является Урской стратовулкан – реликтовая вулканическая постройка из двух сближенных кратеров. Оба кратера откартированы по субвулканическим телам дацитовых порфиров, внедрившимся по прикратерным кольцевым разломам [2].

В районе месторождения Копна широко проявлены гидротермальные и метасоматические изменения пород, приуроченные к зонам дробления, смятия и интенсивной трещиноватости. Изменения выражены в окварцевании пород, серицитизации и альбитизации с образованием кварцитов, осветленных кварцитовидных пород, серицитолитов и кварц-альбит-серицитовых сланцев. Топазовые кварциты слагают вершину горы, к которой приурочено золото-кварц-топазовое месторождение Копна. Топазовые кварциты сложены чередующимися полосами и линзами топаз-кварцевого состава с различным количеством топаза. Топаз образуют с кварцем тесные сростания и реже самостоятельные микро и мелкозернистые выделения, линзочки и прожилки. Тип руды, который образуют топазы совместно с золотом – золоторудный в кварцитах и зонах прожилково-жильного окварцевания (малосульфидная золотокварцевая и золото-кварцитовая формации) (рис. 1).

Для вычислений использованы данные пробирного анализа на Au и силикатного анализа на Al_2O_3 , проведенных НПО «Урское» в процессе поисково-оценочных работ. Для расчета корреляционных зависимостей использовался ранговый критерий Спирмена, который не чувствителен к виду распределения. В пределах выделенных топазо-кварцитовых тел кварц и топаз в сумме составляют 96–98 % объема породы, поэтому содержание топаза можно оценивать по концентрации Al_2O_3 , поскольку практически весь глинозем связан с топазом.

По данным исследования технологических проб корреляция между содержаниями оксида алюминия и топаза составляет 0,94 (рис. 3). Вычисленное уравнение линейной регрессии имеет вид:

$$Y = 1.66 \cdot X - 0.56,$$

где Y – содержания топаза, X – содержания Al_2O_3

Корреляционная зависимость между содержаниями золота и топаза отсутствует (рассчитанный показатель составил -0,017), следовательно, формирование топазов не влияло на распределение золота в рудах.

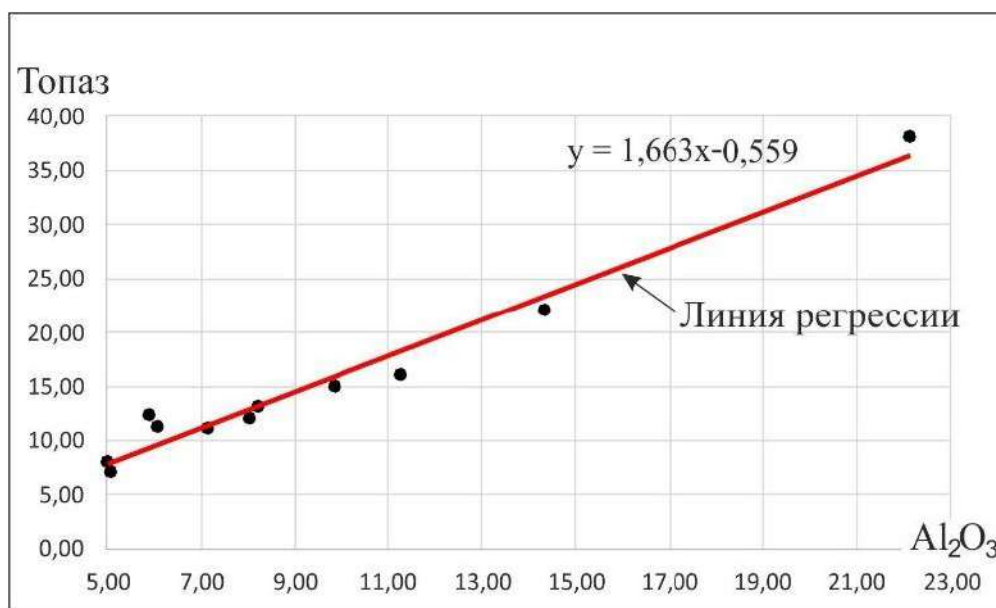
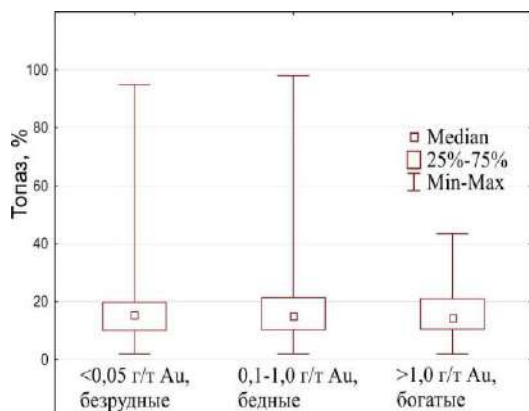


Рис. 2. Зависимость концентраций топаза в кварцитах от содержания глинозема

Для подтверждения того, что золоторудный процесс не зависел от формирования и распределения топазов все топазосодержащие породы были разбиты на три группы по концентрации золота: богатые ($Au > 1$ г/т), бедные ($0.1 < Au < 1$ (г/т)), безрудные ($Au < 0.05$ г/т) (рис. 3).



Уровень значимости различия выборок по содержанию топаза

Depend.: Топаз	Multiple Comparisons z' values; Топаз (Для Исакова М) Independent (grouping) variable: выборка Kruskal-Wallis test: H (2, N= 906) =,0903238 p =,9558		
	безрудные <0,05 г/т Au	бедные 0,1-1,0 г/т Au	богатые >1,0 г/т Au
безрудные		0,234683	0,292291
бедные	0,234683		0,108592
богатые	0,292291	0,108592	

Рис. 3. Сравнение содержаний топаза в выборках с разной концентрацией золота (для обоснования вывода о различии содержаний с вероятностью не менее 95 %, уровень значимости не должен превышать 0,05)

По построенным диаграммам видно, что средние содержания топаза в этих трех группах пород друг от друга статистически значимо не отличаются.

Заключение: Выявлена корреляционная зависимость между содержаниями топаза и глинозема. Установлено, что запасы топаза можно оценивать по содержаниям глинозема при определенных условиях. При поиске корреляционной зависимости между содержаниями золота и топаза было установлено, что золото с топазом не коррелируется, формирование золоторудных объектов на месторождении «Копна» прямо не связано с образованием топазовых кварцитов.

Литература

1. Месторождение Копна в Гурьевском районе как драйвер технологического суверенитета [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://znamenka-gur.ru/articles/media/2023/3/24/mestorozhdenie-kopna-v-gurevskom-rajone-kak-drajver-tehnologicheskogo-suvereniteta/>, свободный – (05.03.2025).
2. Перспективы комплексного промышленного освоения месторождения «Копна» / Н.Ф. Агеев, В.И. Верещагин, В.М. Голованов, В.А. Хохолов, Н.Д. Милютин. – Новокузнецк: ЗАО «НПО Урское», 2002. – 257 с.

О ПРИЧИНАХ ОКРАСКИ ОПАЛОВ В ТОМСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ (ЗАПАДНАЯ СИБИРЬ)

Лахно Е.А., Едаптина К.С., Синкина Е.А.

Научный руководитель доцент Е.А. Синкина

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Под термином «опал» принято понимать разнообразные формы аморфных и слабо раскристаллизованных минералов водного кремнезема. Классификации опалов основаны на особенностях химического состава, кристаллической структуры, морфологии, физических свойств и на их генезисе. В независимости от классификационного признака принято выделять благородные опалы и обыкновенные. Различие заключается в оптических эффектах. Благородные опалы обладают разнообразной игрой света, а обыкновенные таковую не имеют. Это связано с внутренней структурой минерала, которая представляет собой упорядоченное сочетание мелких шарообразных глобулей. В природных благородных опалах глобули достаточно крупные и достигают в диаметре 150...400 нм. Они одинаковы по величине, что обусловило однородную и плотную упаковку. Для обыкновенных опалов характерна разноразмерность и неупорядоченность сферических частиц. Интерстиции между глобулами благородного опала представляют правильно распределенные поры, имеющие почти тетра- или октаэдрические формы. Эти поры частично заполнены гидратированным аморфным кремнеземом, который служит цементом частиц. Цементация, вероятно, происходила уже после правильной упаковки частиц [3].

Опалы по степени сочетания наноглобулей делятся на три группы [2]:

1. Опалы с упорядоченной структурой (опал С), сложенные наноглобулами низкотемпературного α -кристобалита с незначительной долей тридимита.
2. Опалы с разупорядоченной структурой (опал СТ), сложенные неупорядоченным низкотемпературным α -кристобалитом и низкотемпературным α -тридимитом.
3. Опалы с разупорядоченной структурой (опал А), сложенные сильно неупорядоченным, почти аморфным кремнеземом.

В сообщении приведены данные о изучении причин окраски опалов Томского месторождения. Месторождение расположено в Томском районе вблизи пос. Мирный на правом склоне долины р. Большая Ушайка. Опаловая минерализация сосредоточена в дайках долеритов, прорывающих песчано-сланцевые отложения

басандайской свиты нижнекаменноугольного возраста. В дайках опалы образуют гнезда, которые часто оторочены коркой охристо-бурого лимонита толщиной от 0,5 до 5 см [4]. Жилы сложены различными обыкновенным опалом желтовато-красной, восковой, молочно-белой, кремовой, голубоватой, коричневатой окраски.

Нами были отобраны основные цветные разновидности опалов, встречаемые в дайках: коричневые с различной степенью насыщенности, белые, желтоватые и голубоватые. В отобранных образцах часто наблюдаются переходы от одного цвета к другому.

При изучении опалов использованы методы описательной минералогии, оптической петрографии и минераграфии, рентгенофлуоресцентный анализ, раман-спектроскопия и сканирующая электронная микроскопия.

Химический анализ образцов показал, что все опалы состоят из SiO_2 (97,87–100 мас. %). Для коричневых разновидностей характерно наличие железа (Fe_2O_3 – 0,00–2,13 мас. %), что обуславливает различную степень насыщенности коричневого цвета (рис. 1). Белые, светлоокрашенные и голубоватые разновидности не обнаруживают никаких элементов примесей.

В белых опалах часто наблюдается наличие желтых пятен различного размера, что характеризует пятнистый рисунок. При изучении полированных образцов в отраженном свете установлено, что желтые пятна обусловлены присутствием мелких (10–100 мкм) кристаллов гетита, диагностированных методом комбинационного рассеяния (рис. 2). В целом у всех изученных образцов опалов имеется типичная рамановская мода связи Si-O-Si в спектральном диапазоне 200 см^{-1} – 600 см^{-1} . Соответствующие пики кристобалита появляются при 230 см^{-1} и 414 см^{-1} . Пики между 300 см^{-1} и 350 см^{-1} соответствуют тридимиту (рис. 4). Таким образом все изученные образцы можно отнести к опалам СТ типа. В спектрах комбинационного рассеяния коричневых опалов отчетливо обнаруживается характерный пик при $604\text{--}607\text{ см}^{-1}$ (рис. 3), причем интенсивность пика зависит от содержания железа и интенсивности коричневого окраса. Предположительно, пик является одним из характеристических для ярозита.

Интерес к изучению вызывали опалы с легким голубым оттенком, который немного усиливался при полировке. Химический состав таких опалов обычен. В них не имеются какие-либо элементы примеси, которые могли бы придавать оттенок минералу. Спектры комбинационного рассеяния также не имеют никаких особенностей: не отличаются от спектров белых опалов и не характеризуются наличием особенных пиков и сигналов.

Изучение свежих сколов поверхности опалов с использованием сканирующей электронной микроскопии показало наличие слабо выраженных глобулей, имеющих шарообразную или слегка удлинённую формы. Размер таких мицелл различен и варьирует от 40 до 250 нм. Реже встречаются крупные (до 300 нм). Глобули расположены хаотично и пространство между ними в различной степени заполнено аморфным кремнеземом (рис. 5), что в целом влияет на возможность дифракции света и возникновение не однородной окраски в пределах одного небольшого образца (от белой до голубоватой). В случае наибольшего заполнения пор аморфным кремнеземом исключается возможность дифракции света и возникает обыкновенный стекловатый опал [4], что часто наблюдается в виде участков в больших образцах опалов.

Таким образом в ходе исследований установлен, что на окраску обыкновенных опалов Томского месторождения влияет:

- химический состав, обусловленный в ряде случаев тонкодисперсной примесью ярозита (?) или крупными механическими включениями гетита;
- внутренняя структура опалов, характеризующаяся различной степенью упаковки и разупорядоченности.

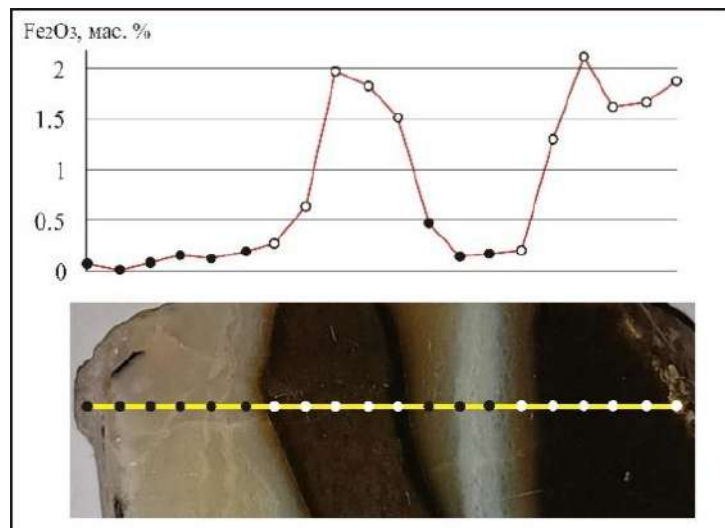


Рис. 1. Окраска опалов в зависимости от содержания железа (на фото представлена полированная поверхность опала)

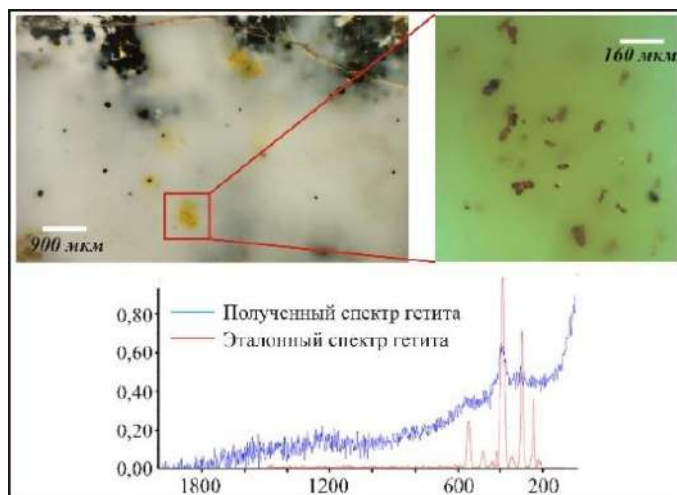


Рис. 2. Белый опал с желтыми пятнами
(желтые пятна – включения тонкозернистого гетита). Под фотографиями приведен КР-спектр гетита

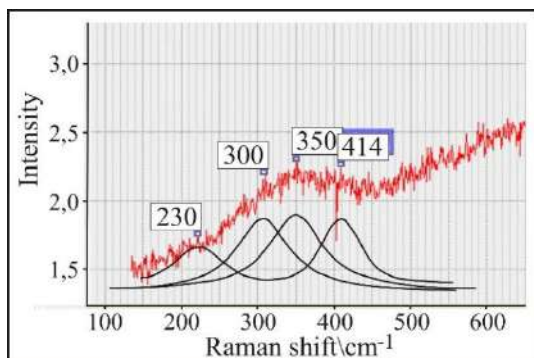


Рис. 3. Характерный рамановский спектр всех опалов
в диапазоне 200 см⁻¹~600 см⁻¹

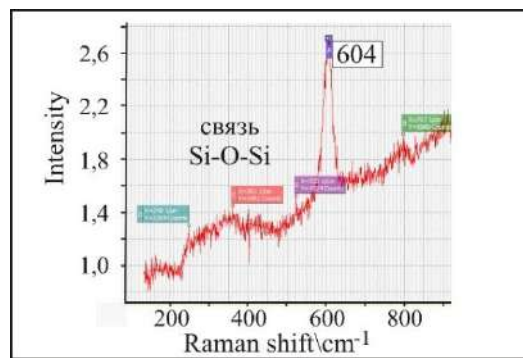


Рис. 4. Рамановский спектр коричневых опалов
с характерным пиком при 604 см⁻¹

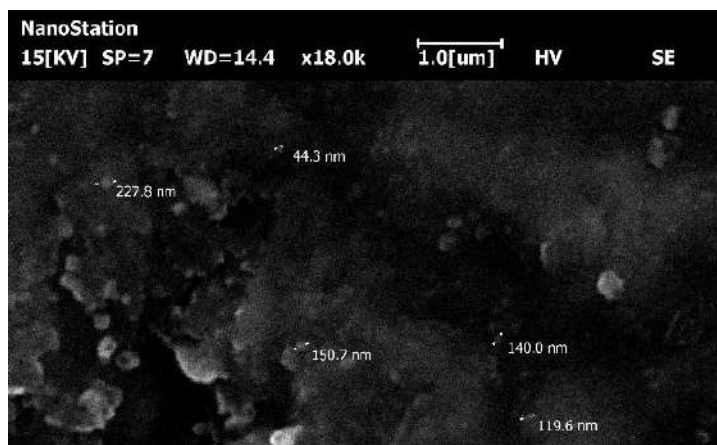


Рис. 5. СЭМ-снимок поверхности бело-голубого опала

Исследования выполнены в рамках Государственного задания Наука № FSWW-2023-0010.

Литература

1. Darragh P.J., Gaskin A.J., Terrell B.C., Sanders J.V. Origin of precious opal // Nature, 1966. – Vol. 209. – P. 13-16.
2. Jones J.B., Segnit E.R. The nature of opal I: Nomenclature and constituent phases // J. Soc. Australia, 1971. – Vol. 6. – P. 301-315.
3. Кушнарев Г.М. Камнесамоцветное сырье: Учебное пособие. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2007. – 119 с.
4. Мананков А.В., Григорьев Ю.Г., Бирюков В.Г. Месторождение опала в Томской области / Вопросы геологии Сибири. Вып. 1 / Под ред., А.И. Гончаренко. – Томск: изд-во Том. Ун-та, 1992. – С. 144-148.

СЛЕДЫ ГРАНИТОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В РУДНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ УЛЬТРАБАЗИТ-БАЗИТОВЫХ МАССИВОВ СИХОТЭ-АЛИНЯ (ХАБАРОВСКИЙ КРАЙ): ИСТОЧНИКИ И ВОЗМОЖНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ФОРМИРОВАНИЯ

Левочский Б.Б.^{1,2}, Ярославцев Д.А.¹, Якич Т.Ю.¹

Научный руководитель доцент Т.Ю. Якич

¹Хабаровский филиал АО «Полиметалл УК», г. Хабаровск, Россия

²Институт тектоники и геофизики им. А.Ю. Косыгина, ДВО РАН, г. Хабаровск

³Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

В представленной работе затронута проблема возникновения и формирования специфичной рудной минерализации, локализованной в измененных перидотитовых разностях (аподунитовых серпентинитах и верлитах) и преобразованных габброидах (норитах) базит-ультрабазитовых массивов Сихотэ-Алинской складчатой системы Хорско-Тормасинской структурно-формационной зоны (СФЗ) (м. Богбасу ~ 20 км²) и Центральной Сихотэ-Алинской СФЗ (м. Дюкали ~ 30 км² и м. Икчука ~ 16 км²), имеющих сходные признаки трехфазных ультрабазит-базит-гранитоидных интрузивов [1]. Трехфазные ультрабазит-базит-гранитоидные массивы – это уникальные геологические структуры, формирование которых связано со сложными процессами магматической дифференциации, контаминацией корового материала и тектонической эволюцией Земли. Изучение вещественного состава таких массивов представляет значительный интерес как в аспекте мантийно-корового взаимодействия, так и в понимании металлогении региона. Другими словами, трехфазные ультрабазит-базит-гранитоидные массивы – это «капсулы времени», сохранившие следы сложных магматических процессов аккреционно-коллизийного характера. По мнению других авторов [4] базит-ультрабазитовые интрузии Сихотэ-Алиня относятся к интрузиям трещинного типа. Интрузии трещинного типа в зонах субдукции встречаются, но их распространённость и морфология существенно отличаются от таковых в рифтовых областях, что также вызывает интерес с точки зрения их изучения и оценки рудного потенциала региона. Формирование интрузий трещинного типа связано с локальными растягивающими напряжениями, изгибом плиты или подъёмом магмы в вулканических дугах. Они играют ключевую роль в транспорте магмы, рудообразовании и реконструкции геодинамических условий субдукционных систем.

По данным предшественников [4] названные базит-ультрабазитовые массивы имеют сложное строение: первая фаза – пироксениты, перидотиты, дуниты; вторая – габброиды, которые имеют резко подчинённое значение. Породы массивов интенсивно амфиболитизированы, серпентинизированы, хлоритизированы, оталькованы, карбонатизированы. Две фазы базит-ультрабазитового состава прорваны поздними гранитоидами мелового и палеоценового возраста (раннемеловыми гранитами Чалигинского массива и палеоценовыми лейкогранитами – Богбасинский массив; раннемеловыми гранитоидами хунгарийского и палеоценового верхнеудоминского комплекса – Дюкалинский массив; раннемеловыми гранитоидами хунгарийского и позднемеловыми гранитоидами баппинского интрузивных комплексов – Икчукинский массив) [4].

В рамках проведения площадных поисковых работ, выполняемых Хабаровским филиалом АО «Полиметалл УК», были отобраны около 100 образцов из трех перечисленных выше массивов для проведения минералогическо-петрографических исследований с целью оценки их рудного потенциала на Cu-Ni-Pt минерализацию. В Томском Национальном исследовательском политехническом университете (г. Томск) породы проанализированы при помощи сканирующего электронного микроскопа TESCAN VEGA 3 SBU с энергодисперсионным анализатором (ЭДС) OXFORD X-Max 50 с Si/Li кристаллическим детектором, при ускоряющем напряжении 20 кВ и токе зонда 4–11.5 нА с предварительной калибровкой интенсивности зонда (11.4–11.5 нА) по кобальтовому стандарту, фокусное расстояние 15 мм.

Из специфичной рудной минерализации установленной авторами впервые в м. Икчука обнаружены: *паркерит* (Ni_{2.94-3.42}(Bi_{1.55-1.84}Pb_{0.27})S_{1.69-2.09}) (рис. А); *маухерит* (Ni_{10.03-11.00}Fe_{0.09-0.33}Co_{0.25}As_{6.27-8.06}Sb_{0.06-0.18}Ge_{0.19-0.26}S_{0.0-2.11}) (рис. Б), соединение Ni (23.92–26.7 мас. %) Sb(42.22–44.79 мас. %) Bi (11.75–12.5 мас. %) и S (16.77–18.6 мас. %), не отвечающее имеющимся в ИМА формулам (В-Г); в м. Богбасу: *звягнецевит* (Pd_{3.03-3.04}Cu_{0.06}Pb_{0.91-0.97}) (рис. Д–Е), *арсенид платины и ирридия*, отвечающий формуле ((Pt_{0.6}Ir_{0.33})_{0.93}(As_{0.96}Sb_{0.11})_{1.07}) (рис. Ж–З); в м. Дюкали: *кабриит* (Pd_{1.99-2.07}Cu_{0.92-0.97}Sn_{1.02-1.07}) (рис. И–Л) и *ирарсит* ((Ir_{0.78-0.82}Pt_{0.14-0.15})As_{1.02-1.07}S_{0.99-1.06}) (рис. К–М), арсенид ирридия с общей формулой (Ir_{1.1}As_{0.9}) (рис. К), а также *орселит* и другие сплавы благородных металлов с оловом (рис. М).

В результате изучения минерального состава м. Икчука, м. Дюкали [2] и м. Богбасу [3] авторы настоящей публикации пришли к выводу, что перечисленные массивы содержат специфичную рудную минерализацию, появление которой могло быть спровоцировано внедрением гранитоидов и повторным прогревом ультрабазит-базитовых породных ассоциаций с инициацией нового флюидного потока, способствующего формированию вторичных минералов от относительно высокотемпературного режима (тремолит, андрадит, роговая обманка), до низкотемпературного (серпентин, хлорит, кальцит, тальк) на последующих гидротермально-метасоматических стадиях с переотложением первичных металлов (Ni, Fe) и участием привнесенных гранитогенных элементов (Bi, Sn, Pb). Специфичной, по мнению авторов, явилась новообразованная рудная минерализация, которая, с одной стороны, содержит характерные для ультраосновных пород халькофильные элементы: Ni, ЭПГ, Fe, при этом насыщена рассеянными As, Sb и литофильными элементами коровой составляющей, такими как Bi, Sn, Pb. Присутствие в составе рудной минерализации (As, Sb и Ge), можно рассматривать как обогащение легкими рассеянными элементами остаточного-магматогенного флюида. Таким образом, в качестве следов гранитогенных элементов в специфичной минерализации ультрабазит-базитовых пород названных массивов Хабаровского края выступает Bi в *паркерите*, Sn в *кабриите*, Pb в *звягнецевите* при постоянном присутствии ремобилизованного Ni и остаточных летучих компонентов As и Sb.

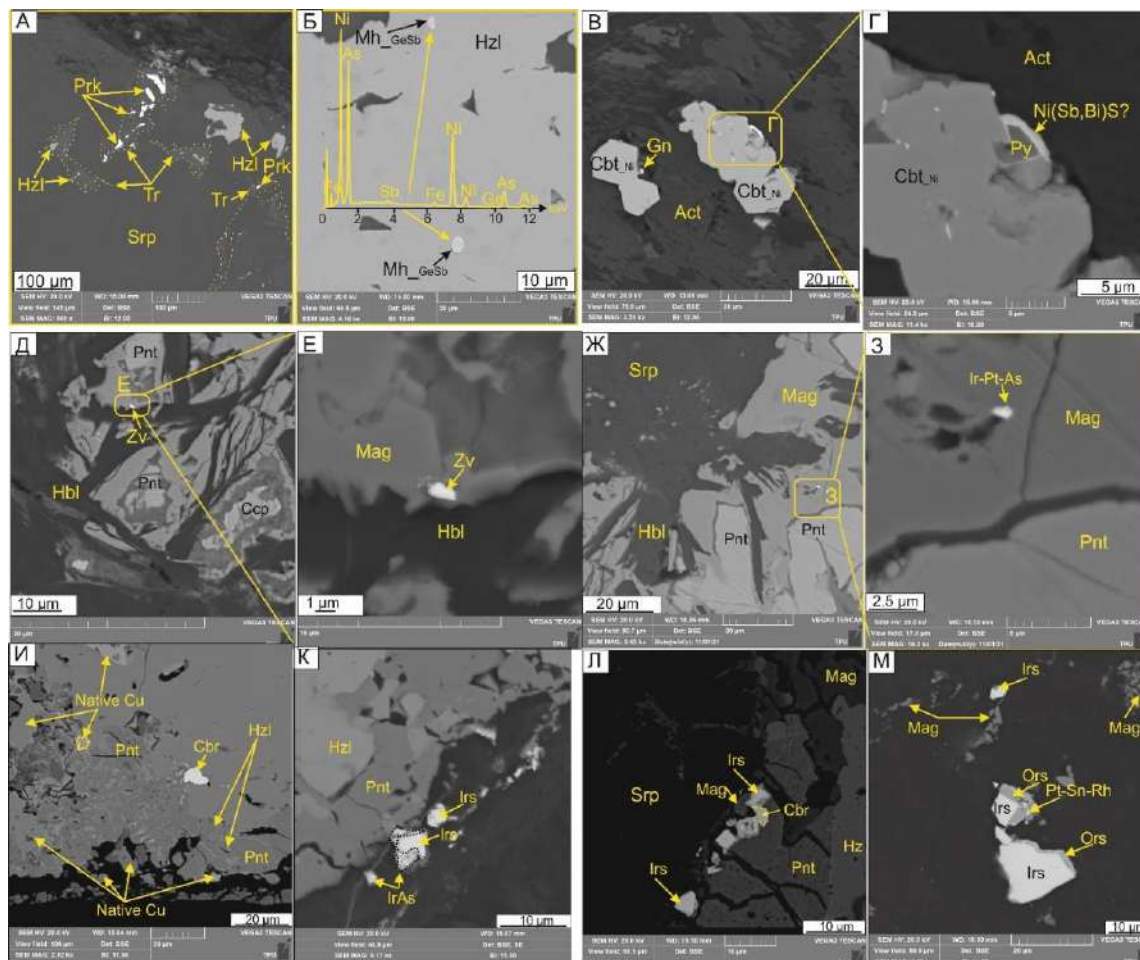


Рис. Микрофотографии измененных перидотиов м. Ичкука (А–Г), м. Богбасу (Д–З) и м. Дюкали (И–М) в обратно-отраженных электронах сканирующего электронного микроскопа. Вкрапленность паркерита (Prk) в ассоциации с тремолитом (Tr) в агрегате серпентина (Srp) (А); увеличенный фрагмент хизлевудита (Hzi), содержащего изометричные зерна маухерита с прим. Sb и Ge (Mh_GeSb) (Б); сростания зерен Ni-кобальтина (Cbt_Ni) с пиритом и соединением NiSbBiS? (В–Г); включение званцевита (Zv) в магнетите (Mag) (Д–Е); включение арсенида платины и иридия (Ir-Pt-As) в магнетите (Mag) (Ж–З); зерно кабриита (Cbr) в хизлевудите (Hzi) (И); сростания ирарсита (Irs) с арсенидом иридия (IrAs) (К), кабриитом (Cbr) (Л) и орселитом (Ors) и сплавами Pt-Sn-Rh (М). Tr – тремолит, Act – актинолит, Hbl – роговая обманка, Srp – серпентин, Pnt – пентландит, Native Cu – самородная медь, Csp – халькопирит

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № FSWW-2023-0010).

Литература

1. Интрузивные серии северного Сихотэ-Алиня и нижнего Приамурья, их рудоносность и происхождение / Э. П. Изох, В.В. Русс, И.В. Кунаев, Г.И. Наговская. под. ред. Я.А. Галушко. – М.: Наука, 1967. – 382 с.
2. Левочский Б.Б., Якич Т.Ю., Кириллов В.Е., Левочская Д.В. Природа редкой минерализации в дунитах Богбасинского базит-ультрабазитового массива (Хабаровский Край), XIII Международная научно-практическая конференция, 11–14 апреля 2024 г., Москва, ФГБУ «ЦНИГРИ» – С. 220-225.
3. Левочский Б.Б., Якич Т.Ю., Левочская Д.В. Роль флюида в перераспределении и накоплении металлов платиновой группы и их сплавов на примере Дюкалинского мафит-ультрамафитового массива (Хабаровский край), «Металлогения древних и современных океанов. Рудогенез», 22-25 апреля 2024 г. – Миасс. 2-024. – С. 191-195.
4. Юрченко Ю.Ю., Добкин С.Н. Отчёт о результатах работ по объекту «Проведение в 2017-2019 году региональных геолого-съёмочных работ масштаба 1:200000 на группу листов в пределах Дальневосточного ФО (южные районы). ГДП-200 (2-3 этапы) листа М-54-XIII (Гурская площадь), 2020. – № 27809.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПЕРМАНГАНАТА КАЛИЯ И ГАЛЛУАЗИТА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ МИКРОУДОБРЕНИЯ

Максимов П.Н., Максимова Н.А.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Галлуазит ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) – представитель класса филлосиликатов, принадлежащий к группе каолинита-серпентина. Его ключевой особенностью является специфическая морфология частиц, представленных природными нанотрубками [3, 4, 11]. По химическому составу галлуазит близок к каолиниту, однако, отличается уникальной полый трубчатой структурой, внешний диаметр которой колеблется от 50 до 200 нм, в то время как диаметр внутренней полости варьирует от 10 до 50 нм [2, 9].

Галлуазит формируется в широком спектре геологических условий, включая вулканические, тропические и ледниковые обстановки [6, 10]. Наиболее значительные месторождения галлуазита расположены в Новой Зеландии, США [8], Франции [7] и Турции [1]. В России галлуазит встречается на Южном и Среднем Урале, в Прибайкалье, Оренбургской, Челябинской, Самарской и Тульской областях [12].

В последние годы галлуазит привлек внимание как перспективный материал для разработки инновационных агрохимических систем [5]. Благодаря своей нанотрубчатой структуре он может выступать в качестве носителя питательных веществ. Полые нанотрубки галлуазита способны адсорбировать и постепенно высвобождать микроэлементы, продлевая их доступность для растений и снижая потери, связанные с вымыванием. Это делает галлуазит потенциально ценным компонентом для разработки новых форм удобрений, направленных на повышение эффективности сельскохозяйственного производства и снижение экологической нагрузки на почвенные экосистемы.

В данной работе в качестве источника марганца был выбран перманганат калия благодаря сочетанию практических и экономических преимуществ. Этот реагент широко доступен и отличается невысокой стоимостью, что делает его привлекательным для потенциального масштабирования технологии. Важно отметить, что перманганат калия уже нашел применение в сельском хозяйстве, где его используют в малых концентрациях для обработки семян и стимуляции роста растений, что свидетельствует о его относительной безопасности при контролируемом использовании. Ключевым преимуществом перманганата калия является его способность легко трансформироваться в биодоступные формы марганца. В слабокислой среде или при взаимодействии с органическими веществами, характерными для почв, перманганат-ионы эффективно восстанавливаются до ионов Mn^{2+} , которые могут усваиваться растениями. Это свойство особенно ценно при создании удобрений с контролируемым высвобождением микроэлементов. Кроме того, такая трансформация позволяет минимизировать потенциальные риски фитотоксичности, обеспечивая постепенное поступление марганца в почвенный раствор.

Получение нанокомпозитов осуществлялось путем обработки перманганата калия лимонной кислотой, что способствовало высвобождению ионов марганца и их последующему внедрению в структуру галлуазита в слабокислой среде (рН 4-6). Подготовленный раствор вводили в галлуазитовую пробу, после чего смесь выдерживали при комнатной температуре в течение 48 часов до полного высыхания. В данном исследовании приведены результаты для двух нанокомпозитов: Hly60ppt40 и Hly80ppt20 , которые различаются по соотношению галлуазита и раствора. В первом нанокомпозите содержится 60 % галлуазита и 40 % раствора, во втором – 80 % галлуазита и 20 % раствора. Полученные нанокомпозиты исследовали методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) на Tescan Vega 3 с энергодисперсионным детектором Oxford X-Max 50, а также методом инфракрасной спектроскопии с преобразованием Фурье (ИК-Фурье) на Shimadzu IRPrestige-21 в диапазоне 4000-400 см^{-1} .

Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) выявила присутствие марганца в валовом составе нанокомпозитов в среднем 0,3 вес. %, с максимальным содержанием 0,9 вес.%. При этом наблюдается снижение концентрации калия в структуре галлуазита, что может указывать на ионообменный процесс между катионами K^+ и Mn^{2+} . Стабильность содержания марганца в нанокомпозитах свидетельствует о его фиксации в структуре.

На СЭМ-изображениях не обнаружено отдельных фаз перманганата калия или других кристаллических форм марганца, что подтверждает его равномерное распределение в матрице галлуазита (рис. 1, А). Морфометрический анализ показал увеличение средней ширины нанотрубок с 96 нм (исходный галлуазит) до 107 нм после обработки, при этом максимальный размер возрастает с 186 нм до 240 нм. Это может быть связано с интеркаляцией марганец-содержащих соединений и частичным раскрытием слоев.

Метод ИК-спектроскопии выявил различия в спектрах исходного галлуазита и синтезированных нанокомпозитов. Наиболее заметные изменения наблюдаются в области поглощения гидроксильных групп. В частности, полоса, соответствующая внутренней поверхности нанотрубок (3696 см^{-1}), усилилась по сравнению с пиком внутрислоевых ОН-групп (3622 см^{-1}), тогда как для исходного галлуазита характерна обратная зависимость (рис. 2 Б). Усиление сигнала при 3696 см^{-1} свидетельствует о возрастании числа водородных связей. Полученные данные могут указывать на влияние марганца на перераспределение водородных связей либо структурную модификацию гидроксильных групп.

Полосы поглощения, соответствующие колебаниям Si-O и Al-OH, остаются неизменными, что подтверждает сохранение структурного каркаса галлуазита. Отсутствие значимых сдвигов в этих областях исключает разрушение или перестройку кристаллической решетки и указывает на то, что марганец не замещает атомы алюминия или кремния в основной структуре, а локализуется в межслоевом пространстве.

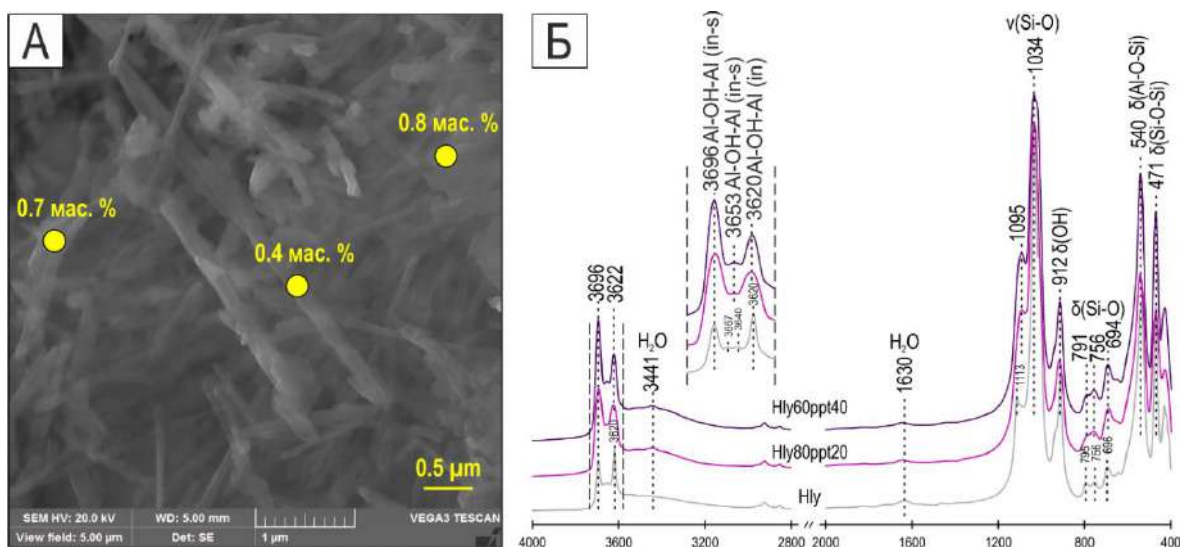


Рис. СЭМ-снимок нанокompозита Hly80rpt20 (А) с маркированными точками содержания марганца по данным ЭДС-анализа и ИК спектры нанокompозитов и исходного галлуазита (Б)

На основе проведенных исследований установлено, что применение лимонной кислоты с перманганатом калия позволило эффективно выделить марганец и успешно внедрить его в структуру галлуазита. Данные ИК-спектроскопии и СЭМ-анализа показали, что марганец внедрился именно в межслоевое пространство минерала, не нарушая его кристаллическую структуру. Это означает, что галлуазит может выступать в качестве эффективного «контейнера» для данного микронутриента, обеспечивая его постепенное высвобождение и длительное питание растений.

Полученные результаты открывают перспективы для создания нового типа экологически безопасных и экономически выгодных удобрений пролонгированного действия. Однако для реализации этого потенциала необходимы дальнейшие исследования по определению оптимальных соотношений раствора перманганата калия, кислоты и галлуазита, а также дополнительные изучения полученных нанокompозитов другими современными методами. Эти исследования позволят разработать наиболее эффективную схему активации галлуазита марганцем для сельскохозяйственного применения.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 25-27-00311).

Литература

1. Ece O.I. Alteration of Volcanic Rocks and Genesis of Kaolin Deposits in the Silve Region, Northern Istanbul, Turkey / O.I. Ece, Z.E. Nakagawa, P. Schroeder // Clay Mineralogy. Clays and Clay Minerals. – 2003 – V. 51(6). – P. 675-688.
2. Heidari Pebdani M. Molecular insight into structural and mechanical properties of Halloysite structure / Heidari Pebdani, M. // Computational Materials Science. – 2023. – V. 218, 111948. <https://doi.org/10.1016/j.commatsci.2022.111948>
3. Joussein, E., Petit, S., Churchman, J., Theng, B., Righi, D., & Delvaux, B. (2005). Halloysite clay minerals – a review / E. Joussein, S. Petit, J. Churchman, B. Theng, D. Righi, B. Delvaux // Clay Minerals. – V. 40(4). – P. 383-426.
4. Kerr P.F. Formation and Occurrence of Clay Minerals / P. F. Kerr // Clays and Clay Minerals. – 1952 – V. 1(1). – P. 19-32.
5. Maximov, P., Dasi, E., Kalinina, N., Ruban, A., Pokidko, B., Rudmin, M. Zinc-Intercalated Halloysite Nanotubes as Potential Nanocomposite Fertilizers with Targeted Delivery of Micronutrients / P. Maximov, E. Dasi, N. Kalinina, A. Ruban, B. Pokidko, M. Rudmin // Materials. – 2023. – V. 16(20). – 6729. <https://doi.org/10.3390/ma16206729>
6. Merino, E. Aqueous-Chemical Control of the Tetrahedral-Aluminum Content of Quartz, Halloysite, and other Low-Temperature Silicates / E. Merino // Clays and Clay Minerals. – 1989. – V. 37(2). – P. 135-142.
7. Perruchot, A., Dupuis, C., Brouard, E., Nicaise, D., Ertus, R. L'halloysite karstique: comparaison des gisements types de Wallonie (Belgique) et du Perigord (France) / A. Perruchot, C. Dupuis, E. Brouard, D. Nicaise, R. Ertus // Clay Minerals. – 1997. – V. 32(2). – P. 271-287.
8. Takahashi T., Dahlgren R.A., Theng B.K.G., Whitton J.S., Soma M. Potassium-Selective, Halloysite-Rich Soils Formed in Volcanic Materials from Northern California / T. Takahashi, R.A. Dahlgren, B.K.G. Theng, J.S. Whitton, M. Soma // Soil Science Society of America Journal. – 2001. – V. 65(2). – P. 516-526.
9. Theng B.K.G. Comparison of Intercalation Methods for Differentiating Halloysite from Kaolinite / B.K.G. Theng // Clays and Clay Minerals. – 1984. – V. 32(4). – P. 249-258.
10. Wada K. Synthesis and Characterization of a Hollow Spherical Form of Monolayer Aluminosilicate / K. Wada // Clays and Clay Minerals. – 1988. – V. 36(1). – P. 11-18.
11. Zhang B., Yu, T., Guo, H., Chen, J., Liu, Y., Yuan, P. Effect of the SiO₂/Al₂O₃ Molar Ratio on the Microstructure and Properties of Clay-based Geopolymers: A Comparative Study of Kaolinite-based and Halloysite-based Geopolymers / B. Zhang, T. Yu, H. Guo, J. Chen, Y. Liu, P. Yuan // Clays and Clay Minerals. – 2022. – V. 70(6). – P. 882-902.
12. Атякшева Л.Ф. Галлуазит – природные алюмосиликатные нанотрубки: структурные особенности и адсорбционные свойства / Л.Ф. Атякшева, И.А. Касьянов // Современные Молекулярные Сита. – 2021. – Т. 3. – № 2. – С. 124-143.

**ФАЦИАЛЬНЫЕ ОБСТАНОВКИ ФОРМИРОВАНИЯ ЮРСКИХ ООИДОВЫХ ЖЕЛЕЗНЯКОВ
ЛАБИНО-МАЛКИНСКОЙ ЗОНЫ (БОЛЬШОЙ КАВКАЗ)**

Максимова Н.А., Максимов П.Н.

Научный руководитель доцент М.А. Рудмин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Ооидовые железняки представляют собой уникальный тип осадочных пород, содержащих не менее 5 % ооидов и 15 % валового железа [5]. Эти породы характеризуются наличием сферических образований (ооидов) размером до 2 мм, обладающих концентрически-зональной структурой [5]. Несмотря на длительную историю изучения, их генезис остается предметом научных дискуссий. В частности, до конца не ясны источники железа, механизмы роста ооидов и условия их осаждения [2, 4, 10]. Ооидовые железняки являются важным инструментом для палеорекоstructions. Их состав и строение отражают физико-химические параметры среды седиментации, климатические изменения и эволюцию морских бассейнов [1, 2, 3]. Цель данной работы – определить фациальные условия формирования ооидовых железняков Лабино-Малкинской зоны на основе минералого-геохимического анализа. Это позволит уточнить механизмы осадконакопления и выявить ключевые факторы, контролирующие образование железорудных толщ в данном регионе.

Объекты исследования представлены двумя разрезами, которые расположены в Лабино-Малкинской зоне [7]. В географическом плане участки находятся в 160–170 км к юго-западу от г. Ставрополь, в междуречье Большого и Малого Зеленчука, вблизи населенных пунктов Хусы-Кардоник и Нижняя Ермоловка. В обнажениях вскрыты скальные выходы осадочных пород тоар-ааленского ярусов, включающие: аргиллиты, алевролиты, алевропесчаники, песчаники, известняки, фосфориты, ооидовые железняки. Все породы состоят из трех основных компонентов: обломочные минералы, цемент и минерализованные морские фоссилии. Большинство пород также содержат в своем составе ооиды. Для определения фациальных обстановок были проанализированы: размер и доля терригенного материала, состав и сохранность морских фоссилий, доля и сохранность ооидов, геохимические показатели. На основе проведенного анализа сделан вывод о формировании пород в трех фациальных обстановках: лагуна, мелководный шельф и глубоководный шельф.

Лагунная фация представлена единичным слоем известняков, характеризующихся уникальным изотопным составом. Значения $\delta^{13}\text{C}$ (-2,7 ‰) соответствуют морскому карбонату, что типично для хемогенных карбонатов, осаждающихся непосредственно из морской воды [9]. Перенасыщение воды гидрокарбонат-ионами, вероятно, связано с повышенной биопродуктивностью, что характерно для замкнутых акваторий. Это указывает на временную изоляцию части морского бассейна и формирование лагунных условий в раннем аалене. Литологические особенности данных известняков характеризуются волнисто-слоистыми микротекстурами, низким содержанием терригенного материала (менее 5 %), присутствием крупных ооидов и пизоидов, а также умеренным содержанием морских фоссилий (около 20 %) с хорошей степенью сохранности. Эти диагностические признаки свидетельствуют о спокойных слабознергетических условиях осадконакопления, типичных для лагунной обстановки.

Мелководную шельфовую фацию можно разделить на три фациальные зоны (рис.):

1. Зона выше базиса ветровых волн, соответствующая предфронтальной зоне пляжа [6] сложена песчаниками и железняками. Общей чертой пород этой фации является карбонатный состав цемента, представленного кальцитом, сидеритом. Изотопные значения углерода в карбонатах варьируют от -10,1 ‰ до -7,2 ‰ PDB, что свидетельствует о том, что источником гидрокарбонат-иона служило разложение органического вещества, а кристаллизация цемента происходила из перенасыщенных поровых вод. Формирование пород происходило на глубине до 20 м, что подтверждается обилием морской фауны, включающей аммонитов рода *Leioceras* и моллюсков *Pholadomya sowerbyi*. Ооиды распределены неравномерно, их содержание варьирует от 10 до 30 %. Наличие оолитовых обломков свидетельствует о высокой гидродинамической активности. В этой зоне формируются ооидовые железняки со значительной долей терригенного материала и карбонатным цементом.

2. Зона между базисами ветровых и штормовых волн, соответствующая переходной зоне шельфа [6], отличается высокой долей ооидов в породах (40–70 %). В этой фациальной обстановке формируется основная часть железняков разреза, а также встречаются песчаники. Цемент преимущественно состоит из глинистых минералов. Влияние приливно-отливных течений и ветра здесь ослабевает. Умеренные течения способствуют активному росту ооидов за счёт их перекачивания по дну и многократному осаждению минеральных слоёв. Доля терригенного материала все также остается высокой. В данной зоне образуются две разновидности ооидовых железняков: с высокой долей терригенного материала и карбонатно-глинистым цементом, а также с высокой долей ооидов и глинистым цементом.

3. Зона ниже базиса штормовых волн, соответствующая внешней зоне шельфа [6] характеризуется уменьшением доли ооидов до 20–30 %, что связано с недостаточной энергией течений для их образования и перемещения. В этих условиях формировались преимущественно известняки и аргиллиты. Доля терригенного материала оставалась высокой: в аргиллитах она не превышала 30 %, а в известняках составляла 5–10 %. Кроме того, средний размер терригенных зерен уменьшается, что указывает на ослабление транспортировочных процессов. Количество морской фауны также сокращается, что обусловлено ограниченным доступом кислорода в более отдаленных от берега зонах. Исключением являются криноидные известняки.

Обнаруженные в составе органогенных известняков представители отрядов *Pentacrinida* и *Cyrtocrinida* позволяют приблизительно оценить границу между мелководным и глубоководным шельфом. Они обитали на глубинах 100–150 м и, как пассивные фильтраторы, нуждались в достаточном количестве питательных веществ и стабильных условиях среды [8]. Эти условия обеспечивались в пределах мелководного шельфа, где сохранялась достаточная освещенность и поступление биогенного материала. Таким образом, граница между мелководным и глубоководным шельфом проходит ниже зоны распространения криноидных лугов, то есть на глубинах более 100–150 м. Глубоководная шельфовая фация отличается крайне низким содержанием ооидов (менее 5 %) или их полным отсутствием. В этих условиях преобладают алевролиты, аргиллиты и алевропесчаники

(рис.), формирующиеся благодаря слабой гидродинамической активности, которая ограничивает перенос крупных частиц и способствует осаждению мелкозернистого материала (средний размер обломочных зёрен 0,06–0,10 мм). Для данной фации характерно повышенное содержание желваковых фосфоритов. Условия спокойного осадконакопления при ограниченном поступлении терригенного материала благоприятствовали фосфогенезу. Примечательно, что фосфориты содержат больше ооидов по сравнению с песчаниками, что может быть связано с влиянием апвеллинга. Последний вызывал локальное усиление гидродинамики, создавая условия для формирования ооидов, а также обогащал придонные воды фосфором, необходимым для фосфоритообразования.

Проведенный анализ компонентного состава и геохимических параметров позволил выявить фациальные обстановки формирования пород. Ооидовые железняки с карбонатным цементом формировались в условиях мелководного шельфа выше базиса ветровых волн, тогда как разности с глинистым цементом – в более глубоководных зонах между базисом ветровых и штормовых волн. Смена фациальных обстановок отражает трансгрессивно-регрессивные колебания уровня моря в тоар-ааленское время.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № FSWW-2023-0010).



Рис. Схематическая реконструкция фациальных обстановок формирования пород Лабино-Малкинской зоны

Литература

1. Houten F.B.Van. Oolitic ironstones and contrasting Ordovician and Jurassic paleogeography / F.B.Van Houten // *Geology*. – 1985. – Vol. 13. – P. 722-724.
2. Ordovician ironstone of the Iberian margin: Coastal upwelling, ocean anoxia and Palaeozoic biodiversity / P.K. Pufahl, A.D. Squires, J.B. Murphy, C. Quesada, S.W. Lokier, J.J. Álvaro, J. Hatch // *Depositional Record*. – 2020. – Vol. 6. – P. 581-604.
3. Rudmin M., Mazurov A., Banerjee S. Origin of ooidal ironstones in relation to warming events: Cretaceous-Eocene Bakchar deposit, south-east Western Siberia / M. Rudmin, A. Mazurov, S. Banerjee // *Marine and Petroleum Geology*. – 2019. – Vol. 100. – P. 309-325.
4. Todd S.E. Sedimentology and oceanography of Early Ordovician ironstone, Bell Island, Newfoundland: Ferruginous seawater and upwelling in the Rheic Ocean / S.E. Todd, P.K. Pufahl, J.B. Murphy, K.G. Taylor // *Sedimentary Geology*. – 2019. – Vol. 379. – P. 1-15.
5. Young T.P. Phanerozoic ironstones: an introduction and review / T.P. Young // *Geological Society, London, Special Publications*. – 1989. – Vol. 46. – No. 1. – P. 9-25.
6. Аллен Ф.А., Болдуин К.Т., Дженкинс Х.К., Джонсон Г.Д., Коллинсон Дж.Д. [и др.]. Обстановки осадконакопления и фации / под ред. Х.Г. Рединга. – Москва: Мир, 1990. – 352 с.
7. Гаврилов Ю.О. Динамика Формирования Юрского Терригенного Комплекса Большого Кавказа; ГЕОС: Москва, 2005. – 555 с.
8. Кулешов В.Н. Изотопный состав и происхождение глубинных карбонатов / под ред. А. В. Пейве. – Москва: Наука, 1986. – 129 с.
9. Холодов В.Н. Фациальные типы осадочных железорудных месторождений и их геохимические особенности. Сообщение 2. Проблемы геохимии фанерозойских железных руд / В.Н. Холодов, Р.И. Недумов, Е.В. Голубовская // *Литоология и Полезные Ископаемые*. – 2013. – № 1. – С. 17-52.
10. Кликушин В.Г. О триасовых и раннеюрских криноидеях Крыма // *Бюл. Моск. о-ва испытателей природы. Отд. геол.* – 1988. – Т. 63. – С. 71-79.

ПРОГНОЗНО-ПОИСКОВЫЕ КРИТЕРИИ ДЛЯ СОХАТИНОГО ЗОЛОТОРУДНОГО ПОЛЯ Молюкпаева Д.К.

Научный руководитель профессор В.Г. Ворошилов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Сохатиное рудное поле располагается в пределах Шаманихо-Столбовского перспективного рудного района Приколымского террейна [1, 2]. Нами изучено Сохатиное месторождение в плане минералогии, термабарогеохимии, геохимии, а также интерпретированы данные геофизических полей КС и магнитной восприимчивости (данные от компании ООО Дюамель). На основании полученных результатов сформулированы прогнозно-поисковые критерии и признаки для выявления аналогичных золоторудных объектов в Сохатином рудном поле.

В пределах месторождения рудовмещающие породы представлены хлорит-кварцевыми, хлорит-эпидот-кварцевыми и мусковит-серицит-кварцевыми сланцами, являющимися продуктами воздействия гидротермальных растворов на исходные кристаллические сланцы амфибол-гранат-биотит-полевошпат-мусковит-кварцевого состава. Околорудные метасоматиты отнесены к кварц-анкерит-серицитовым березитам. Первичные руды представляют собой системы сопряженных пологопадающих и крутопадающих жильно-прожилковых тел карбонат-кварцевого состава с неравномерно распределенной сульфидной минерализацией в пределах зон березитизации. Среди сульфидов преобладают пирит, галенит, халькопирит, под электронным микроскопом выявлены также разнообразные сульфосоли, теллуриды и селениды [3, 4]. Пространственно Сохатиное месторождение тяготеет к поясу даек микродолеритов грязнинского комплекса юрского возраста.

Структурная обстановка месторождения обусловлена интенсивным развитием разрывных нарушений в сочетании с крупными пликативными структурами. Складчатые структуры толщ кристаллических сланцев имеют сложные формы, для них характерны крупные размеры и в основном пологие углы залегания. Разрывная тектоника мезозойского возраста повсеместно развита на территории месторождения. Рудные тела Сохатиного месторождения тяготеют к зонам сопряжения надвигов и крутопадающих разрывов. Основная зона таких разрывов северо-западного направления делит месторождение на две части, отличающиеся по минеральному составу. По отношению к этой структуре прослеживается минерально-геохимическая зональность руд: с удалением от разлома увеличивается содержание Рb по отношению к Cu, что выражается в преобладании галенита над халькопиритом. Надвиги и поперечные рудоконтролирующие структуры находят отражение в геофизических полях, позволяя прогнозировать новые рудные зоны с использованием геофизических данных.

В ходе гидротермально-метасоматических изменений содержание магнетита в породах значительно изменяется, что делает магнитное поле важным индикатором тектонических условий и рудно-метасоматической зональности. Измерения магнитной восприимчивости показывают, что более магнитными являются породы с биотитом, хлоритом и эпидотом, тогда как кварцево-гидрослюдистые породы менее магнитны. В скважинах выявлена связь между аномальными концентрациями P, V, Fe, Mn, Zn, Co, Ni и зонами с повышенной магнитной восприимчивости, но эта связь не является линейной. Максимальная магнитность наблюдается на фронте пропилитизации, где начинается процесс замещения граната, амфибола и биотита эпидотом и хлоритом с появлением новообразованного магнетита. В дальнейшем магнетит замещается пиритом, что снижает магнитность пород. В центральных частях березитов магнитная восприимчивость минимальна. В поперечном разрезе месторождения внешние зоны пропилитизации имеют повышенную магнитность, а центральные зоны с золотоносными березитами практически немагнитны.

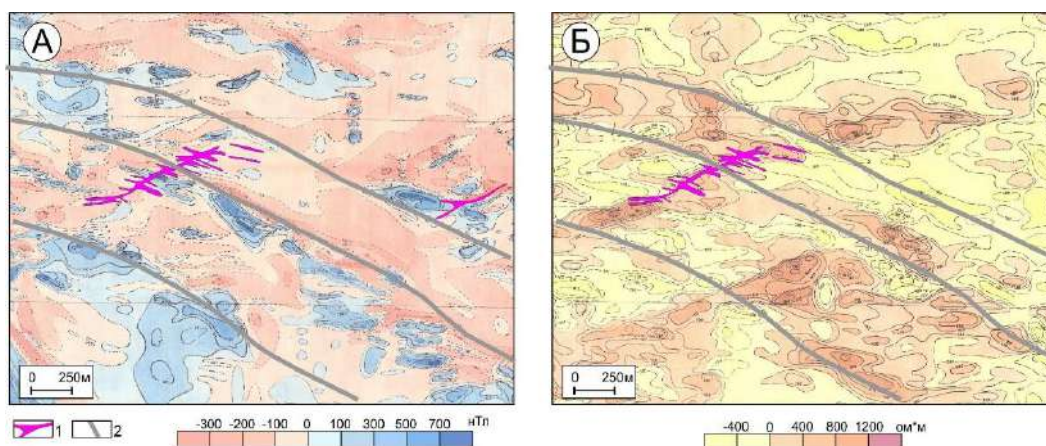


Рис. А – Карта аномального магнитного поля ΔT Сохатиного месторождения (по материалам ООО Дюамель); Б – Положение главного рудного тела Сохатиного месторождения на карте локальной составляющей кажущегося сопротивления R_k (по материалам ООО Дюамель); 1 – известные рудопроявления (первичные ореолы золота); 2 – поперечные рудоконтролирующие структуры

На карте магнитного поля минерализованные зоны и рудоконтролирующие разломы выделяются интенсивными знакопеременными аномалиями, что делает магнитные данные полезным инструментом поиска

СЕКЦИЯ 2. РУДООБРАЗУЮЩИЕ СИСТЕМЫ: ПРОБЛЕМЫ МИНЕРАЛОГИИ, ГЕОХИМИИ И ПЕТРОЛОГИИ

золоторудных месторождений. Кроме того, выявляются поперечные структуры, сопряженные с надвигами и контролирующее размещение рудных тел и геохимических ореолов золота и его элементов-спутников. Определены три такие структуры, ограничивающие расположение главного рудного тела.

По карте кажущегося сопротивления золотоносные рудные тела связаны с субширотными зонами повышенного сопротивления, интерпретируемыми как окварцевание пород в зонах надвигов. Маломощные надвиговые швы, вмещающие оруденение, напротив, обладают низким сопротивлением из-за их обводненности. В связи с этим, золоторудные зоны проявляются как области снижения сопротивления внутри широкой зоны высокого сопротивления, что позволяет прогнозировать новые рудные зоны и оценивать их протяженность (рис. 1, А).

Золотое оруденение сопровождается первичными и вторичными геохимическими ореолами Au и его элементов-спутников (Cu, Pb, Ag, Zn, As, Sb, Bi, Te, Se, Mo). По данным полуколичественного спектрального анализа, аномалии Au, Pb и Cu выделяют как Главное рудное тело, так и отдельные перспективные зоны в пределах полосы, ограниченной рудоконтролирующими структурами. Поисковые каналы, пройденные на этих участках, вскрыли зоны березитизации с кварцево-золото-сульфидной минерализацией, что подтверждает возможность выявления новых золоторудных зон сохатинского типа.

К поисковым критериям относятся также минералогические (шлиховые) ореолы золота и минералов-индикаторов (галенит, халькопирит, их продукты окисления, а также редкие сульфиды, сульфосоли, теллуриды и селениды). К магматическим предпосылкам оруденения можно отнести пространственную связь рудных зон с поясами юрских даек грязнинского комплекса.

Таким образом, сформирован комплекс прогнозно-поисковых критериев золоторудного оруденения сохатинского типа (табл. 1).

Таблица

Прогнозно-поисковые критерии

Предпосылки	Характер проявления	Признаки	Характер проявления	
			прямые	косвенные
Тектонические	Сопряжение субширотных надвиговых структур с зонами поперечных крутопадающих разрывов	Минералогические	Ореолы самородного золота	Ореолы халькопирита, галенита и более редких сульфидов, сульфосолей, теллуридов и селенидов
Магматические	Наличие поясов мезозойских даек грязнинского комплекса	Геохимические	Первичные и вторичные ореолы золота	Комплексные аномалии Cu, Pb, Ag, Zn, As, Sb, Bi, Te, Se, Mo в первичных и вторичных ореолах
		Метасоматические		Зоны березитов с кварцево-сульфидной минерализацией
		Геофизические		Линейные зоны высокоградиентных магнитных аномалий и коррелирующихся с ними знакопеременных аномалий кажущегося сопротивления

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № FSWW-2023-0010).

Литература

1. Глухов А.Н. Медное и полиметаллическое оруденение Приколымского террейна и его генетическая типизация / А.Н. Глухов // Литосфера. – 2019. – С. 717-730.
2. Горячев Н.А. Геология мезозойских золото-кварцевых жильных поясов Северо-Востока Азии / Н.А. Горячев. – Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1998. – 210 с.
3. Молукпаева Д.К., Ворошилов В.Г. Минералогия первичных и окисленных руд Сохатинского месторождения / Д.К. Молукпаева, В.Г. Ворошилов // XXVIII Международный научный симпозиум молодых ученых и студентов имени академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр», посвященный 125-летию со дня рождения академика Академии наук СССР профессора К.И. Сатпаева, 130-летию со дня рождения члена-корреспондента Академии наук СССР профессора Ф.Н. Шахова. – 2024. – С. 85-87.
4. Минералогия руд Сохатинского золоторудного месторождения (Северо-Восток Азии, Россия) / Т.В. Тимкин, В.Г. Ворошилов, М.В. Юркова, М. Зиаи // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2022. – С. 53-65.
5. Геохимические критерии золотоносности первичных и окисленных руд Сохатинского месторождения (Северо-Восток России) / В.Г. Ворошилов, Т.В. Тимкин, Д.К. Молукпаева, О.В. Савинова // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. – 2024. – С. 24-34.

МИНЕРАЛОГО-ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ УЛЬТРАОСНОВНЫХ СЕРПЕНТИНИТОВ КАРАБАШСКОГО МАССИВА

Низамутдинов Р.Р.

Научный руководитель доцент К.Л. Новоселов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Карабашский ультрабазитовый массив расположен на Южном Урале, в северной части Челябинской области. В структурном отношении он приурочен к Главному Уральскому разлому, разделяющему палеоконтинентальный и палеоокеанический секторы Урала [2]. Породы Карабашского массива слагают в современном рельефе одноимённый хребет с абсолютными отметками до 611,8 м (г. Карабаш). Петрографически массив представлен серпентинизированными гарцбургитами, дунитами, в меньшей степени – лерцолитами [1].

Целью исследования является обнаружение возможного антропогенного влияния на горные породы, связанного с деятельностью медеплавильного комбината. Для достижения цели решалась задача минералого-геохимического изучения пород, аксессуарных и рудных минералов на предмет нетипичных вторичных изменений. Образцы были отобраны на северной вершине г. Карабаш – г. Поклонная (широта – $(55^{\circ} 29' 8.293'' \text{ N})$, долгота – $60.25417 (60^{\circ} 15' 15.012'' \text{ E})$ с абсолютной отметкой 587,8 м.

Макроскопически породы зеленовато-серые, жирноватые на ощупь. Представлены серпентинитами с присутствием нескольких модификаций серпентина – волокнистого серпентина, пластинчатого бастита и др. Породы претерпели катаклиз, явно наблюдается выветрелая внешняя зона – черного цвета, имеющая резкую границу. Под микроскопом структура порфировластовая с мелкопластинчатой основной серпентиновой массой. Порфировластовые выделения (до 0,8 мм в диаметре) сложены баститом. В бастите рентгенофлуоресцентным методом (РФА – HORIBA XGT 7200, анализ выполнен к.г.-м.н., доцентом ОГ ИШПР Синкиной Е.А.) определен состав реликтов – $\text{MgO} - 23,43 \%$, $\text{CaO} - 20 \%$, $\text{SiO}_2 - 47,8 \%$, хром – 1 %, железо – 8 %, что соответствует диопсиду, вероятно, хромдиопсиду. Также, отмечены мелкозернистые неравномерные скопления вторичного эпидота (до 0,3 мм в диаметре).

Рудная минерализация представлена магнетитом, хромитом, ильменитом. Магнетит встречается в виде вкрапленников разрозненных зёрен изометричной формы (рис. А). Ильменит наблюдается в сростаниях с магнетитом, в форме зёрен с неправильными, заливистыми границами (рис. Б). Хромиты встречаются в виде ксеноморфных зёрен размером до 1 мм, в которых наблюдается замещение оксидом железа, распространяющееся по периметру, а также вдоль трещин (рис. В). Состав хромитов определен рентгенофлуоресцентным методом и соответствует феррихромиту.

При изучении пород на сканирующем электронном микроскопе TESCAN VEGA 3 SBU (анализ выполнен к.г.-м.н., старшим преподавателем ОГ ИШПР Николаевой А.Н.) обнаружен минерал бадделейт (ZrO_2). Также, обнаружен минерал группы фергюсонита, предположительно, циркелит [3], содержащий в составе Zr и Ti (табл.) и находящийся в сростаниях магнетитом (рис. Г).

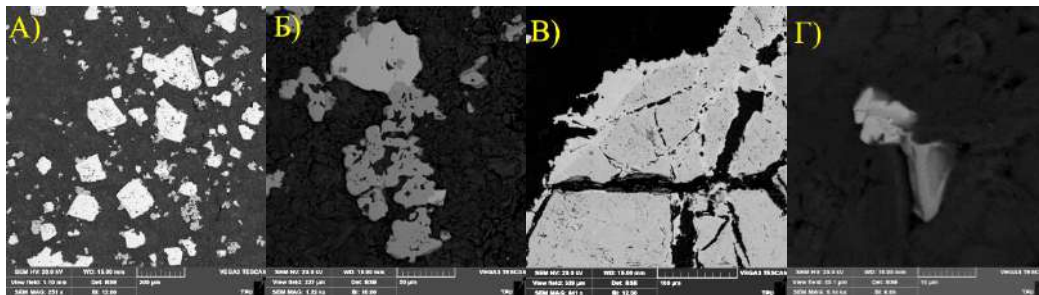


Рис. Зерна рудных аксессуарных минералов, изображение в обратно-рассеянных электронах

Таблица

Содержание элементов в титаноциркониевых минералах, %

O	Mg	Al	Si	Ca	Sc	Ti	Fe	Rb	Y	Zr	Nb	Ce	Nd
33,5	0,6	0,2	0,38	6,4		20,74	6,35		4,1	24,8		1,43	1,52
31,9				3,39		20,25	7,7		8,65	23,5			4,64
32,95				2,42	0,65	18,98	7,61	0,91	11,05	20,6	2,1		2,69

Проведённые исследования не позволили однозначно определить техногенный вклад в поздние изменения минералов и пород, и поэтому предполагаются дальнейшие аналитические исследования.

Литература

- Грицук А.Н. Петрогеохимические особенности и рудоносность Таловского габбро-гипербазитового массива: Автореф. дис...к.г.н. / А.Н. Грицук – Москва. – 2003. – 22 с.

2. Кисин А.Ю. Тектоническая позиция золотого оруденения горы Карабаш (Южный Урал) по результатам изучения малых структурных форм / А.Ю. Кисин, В.В. Мурзин, М.Е. Притчин // Литосфера. – 2014. – Т. 4. – С. 79–91.
3. Чухров Ф.В. Минералы (справочник). Т. II. Вып. 3. Сложные окислы, титанаты, ниобаты, танталаты, антимонаты, гидроокислы / Ф.В. Чухров, Э.М. Бонштедт-Куплетская. – М.: Наука, 1967. – С. 182–188.

ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ РУД ТАБОРНИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (РЕСПУБЛИКА САХА(ЯКУТИЯ))

Николаева А. Н.¹, Ярчук А. В.^{1,2}

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

²ООО «Нерюнгри-Металлик», г. Нерюнгри (Хани), Россия

Золоторудное месторождение Таборное, открытое в 1976 году, расположено на юго-западе Республики Саха (Якутия) в 120 км от станции Икабья. В геологическом плане приурочено к субширотной Южно-Угуйской золотоносной зоне, проходящей вдоль южного борта Угуйского грабена. Месторождение сформировано в толще рифейских красноцветных аркозовых песчаников олонноконской свиты с проявлением раннемеловых силлов и даек сиенит-порфиров Алданского комплекса [1–3]. Нахождение зон пиритизации в линейной коре выветривания неполного профиля обусловило формирование большеобъемного золоторудного месторождения с невысокими содержаниями металла и уникальными технологическими свойствами.

Целью данной работы являлось детальное изучение вещественного состава руд месторождения Таборного. Полученная информация может способствовать разработке более эффективных методов добычи, переработки и извлечения золота, что, несомненно, повысит рентабельность производства.

В ходе исследований было изучено более 20 образцов с помощью исследовательского микроскопа отраженного света Zeiss Imager 2m (петрографический анализ) и сканирующего электронного микроскопа Tescan Vega 3 SBU с локальными энергодисперсионным анализом (Oxford X-Max 50).

Золотое оруденение на месторождении проявлено в обохренных песчаниках (рис. 1, а, б), претерпевших разную степень метасоматической переработки, характеризующейся окварцеванием, серицитизацией и пелитизацией. Основная часть породы сложена полевыми шпатами, представленными анортитом, андезином и ортоклазом (рис. 1, в–е), которые подвержены замещению. Размерность агрегатов не превышает 0,2 см. Серицитизации активно подвержен ортоклаз, за счет чего и имеет реликтовую структуру. Анортит и андезин представлены гипидиоморфными кристаллами таблитчатой формы, замещению серицитом подвержены в меньшем объеме. Кварц характеризуется обломочными и полуокатанными агрегатами, при этом по размерам превышает агрегаты полевых шпатов (0,3...0,35 см). Спорадически в интерстициях силикатных минералов отмечается развитие чешуйчато-игольчатых агрегатов хлорита. Редко серицит кристаллизуется в пластинчато-таблитчатые агрегаты мусковита. Кварц зачастую характеризуется раскристаллизованными агрегатами, создающими гетеро-гранобластовую микроструктуру.

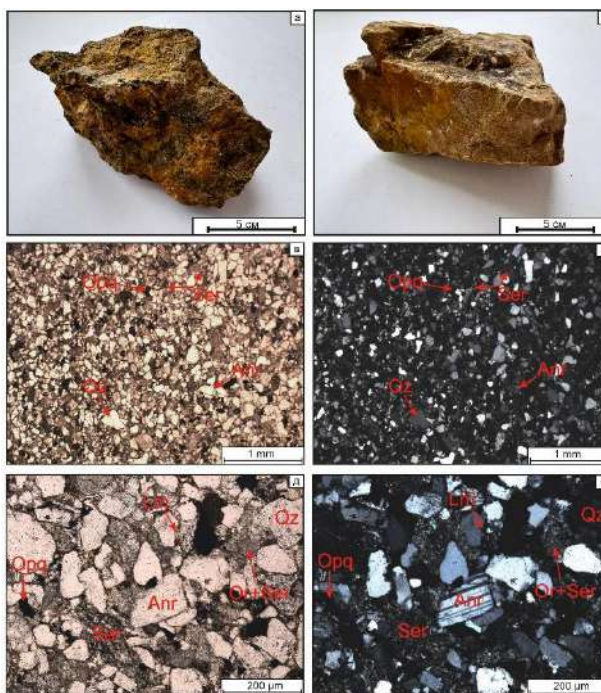


Рис. 1. Снимки обохренных песчаников (а, б) и их вещественный состав в шлифе (в, д – николи П; г, е – николи +). Ser – серицит, Opq – рудная минерализация, Anr – анортит, Or – ортоклаз, Lm – лимонит

В процессе изучения руд были диагностированы такие минералы как рутил, барит, пирит, гематит, акантит, монацит, циркон брабантит, электрум, сфалерит и апатит. Большой объем среди указанной минерализации занимает сульфидный минерал **пирит** (FeS_2) изометричных форм и как минимум трех габитусов: кубического, пентагон-доэкаэдрического и октаэдрического. Спорадически зерна подвержены деформации. Сульфид развивается как в виде единичных включений, так и скоплений агрегатов в пустотных пространствах (рис. 2, б) силикатных минералов (кварца, КППШ и плагиоклаза). Размерность агрегатов варьирует от 1,5 до 32 микрон. В единичных зернах в качестве примесей в составе сульфида зафиксированы содержания мышьяка As (1,5 %) и меди Cu (1,63 %). Пирит активно подвержен выщелачиванию, за счет чего нередко имеет полуреликтовую форму с многочисленными пустотными пространствами (рис. 2, в). Единжды в образце встречено округлое зерно, по химическому составу сложенное серебром и серой ($\text{Ag} = 87.22 \%$, $\text{S} = 12.8 \%$). Минеральная фаза обозначена как **акантит** (Ag_2S). Зерно размером 7,58 микрон расположено в пустотном пространстве кварца, при этом вблизи него отмечается трещина, заполненная минеральным индивидом того же состава (рис. 2, г). В результате выполнения данной трещины для акантита, помимо округлой формы выделения, отмечается также проволоковидная. **Рутил** (TiO_2) характеризуется вытянутыми таблитчатыми агрегатами с соотношением длины и ширины 3:1 или 4:1, где средняя длина составляет 115 микрон.

Для минерала отмечается ребристо-ямчатый рельеф. Кристаллы при этом подвержены разрушению средней степени. Спорадически диагностируются парагенетические ассоциации рутила и **ильменита** ($FeTiO_3$), а именно ксеноморфные агрегаты рутила выполняют пустоты в крупных зернах ильменита размером до 120 микрон. Вероятнее всего, на фоне роста давления ильменит в составе парагенезисов терял устойчивость и сменялся рутилом. Так же отмечаются единичные вакуольные пространства в силикатных минералах, выполненные ассоциацией трех минералов: рутил, пирит, монацит (рис. 2, е). **Циркон** ($ZrSiO_4$) в шлифе диагностирован в виде окатанных зерен размером в среднем 35...45 микрон. Агрегаты фиксируются в полевых шпатах и не отмечаются в парагенетической ассоциации с другими минералами. **Барит** ($BaSO_4$) обычно распространен в шлифе по периферии пустотных пространств в КППШ или плагиоклазе. Минерал имеет пластинчатую структуру. В качестве примесей единично зафиксировано содержание вольфрама W (7,03 %). Спорадически сульфат встречается в парагенетической ассоциации с рутилом и пиритом. Размер агрегатов в среднем составляет 15 микрон. Диагностирован случай, когда расслоенный, трещиноватый кристалл барита размером 96,98 микрон обрамляет пиритовая минерализация. А также выявлена обратная ситуация, когда в центральной части зерна пирита развивается ксеноморфный барит (рис. 2, а). Также в шлифе обнаружена редкоземельная минерализация, представленная **монацитом** ($Ce,La,Nd,Th)PO_4$. Минерал диагностируется в виде множественных скоплений ксеноморфных зерен размером от 2 до 10 микрон. По химическому составу относится к цериевой разновидности ($Ce \geq La + Pr + Nd + Sm$). В качестве примесей зафиксированы содержания Pr (1,48...2,08 %) и Ag (2,68...2,97 %). Спорадически отмечается, как в химическом составе минерала до 11% занимает ванадий (V), в данных случаях минерал меняет свою структуру, образуя чешуйчато-пористые агрегаты (рис. 2, д). Зачастую цериевый монацит находится в парагенетической ассоциации с пиритом и рутилом. Вторым редкоземельным минералом является **брабантит** $CaTh(PO_4)_2$, развивающийся в виде ксеноморфных вкраплений, образующих продолжительные по размерам скопления (рис. 2, ж). Развитие REE-минерала отмечается по выполненным гидроокислами железа и единичными зернами гематита трещинам (просечкам). При максимальном увеличении наблюдается, что минерал зачастую имеет трубчатое строение диаметром 0,74 микрон и длиной 3 микрон. Единожды в пустотном пространстве кварца зафиксировано скопление изометричных зерен **сфалерита** (ZnS) размером не более 18,5 микрон. Примесей в сульфиде не диагностировано. **Апатит** $Ca_{10}(PO_4)_6(OH,F,Cl)_2$ в рудах был выявлен в виде округлых зерен неправильных форм с неровными краями и шероховатым рельефом. Агрегаты в длину достигают 40 микрон. Минерал нередко находится в парагенетической ассоциации с пиритом и монацитом, при этом данные минералы располагаются по его периферии. **Гематит** (Fe_2O_3) отмечается в шлифе в виде изометричных зерен с характерной концентрической зональностью размером от 30 до 62,5 микрон. Спорадически по зернам наблюдается трещиноватость, сопровождающаяся по периферии активным процессом выщелачивания. Сконцентрированы агрегаты в большем объеме в окисленных трещинах, спорадически по пустотным пространствам в кварце или полевых шпатах. Золотая минерализация представлена включениями **электрума** ($AuAg$). По данным ЭДС содержания Au составляют 80,95 %, а серебра Ag – 19,05 %. Проба золота по классификации уровня пробности относится к высокопробному:

$$\frac{Au}{Au+Ag} * 1000 = 809,5.$$

Минеральные индивиды электрума характеризуются неправильной чешуйчато-пластинчатой формой с ребристо-ямчатым рельефом поверхности и размером около 5,3...6,29 микрон (рис. 2, з). Минерал обычно отмечается в пустотах полуреликтовых зерен пирита.

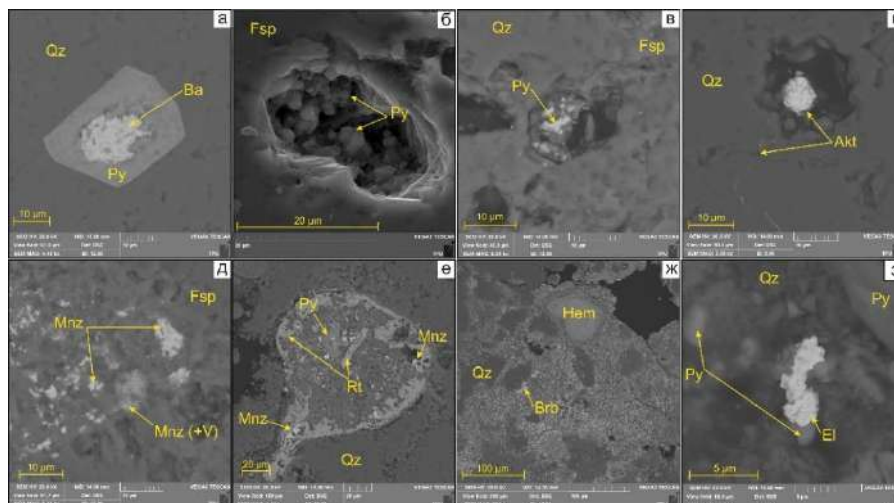


Рис. 2. Снимки со сканирующего микроскопа, демонстрирующие характер выделения пирита (а, б, в), акантита (з), монацита (д, е), брабантита (ж) и электрума (з). Qz – кварц, Ba – барит, Py – пирит, Fsp – фельдшпатоиды, Akt – акантит, Mnz – монацит, Rt – рутил, Hem – гематит, Brb – брабантит, El – электрум

Таким образом, в процессе исследований было выявлено, что руды Таборнинского месторождения характеризуются большим набором минералов, представленных сульфидами, фосфатами, сульфатами, силикатами и оксидами.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № FSWW-2023-0010).

Литература

1. Двуреченская С.С. Минералого-геохимические особенности пород и руд месторождения Таборное, западная часть Алданского щита / С.С. Двуреченская, С.Г. Кряжев // Руды и металлы. – 2005. – № 2. – С. 28–36.
2. Зубков Ю.А. «Угуйский» тип большеобъемных золоторудных месторождений, сформированных в линейной коре выветривания (Юго-западная Якутия) / Ю.А. Зубков, А.В. Сагир, Н.В. Чварова // Месторождения рудных и нерудных полезных ископаемых. – 2020. – № 2. – С. 32-45.
3. Кукушкин К.А. Геология и рудоносность Угуйской и Олдонгсинской структур Чаро-Олекминского блока Алданского щита (по материалам ГДП-200) / К.А. Кукушкин, А.В. Терехов, А.В. Молчанов, Д.С. Козлов, О.Л. Соловьев, Д.Ю. Титов, Е.И. Хорохорина. – 2018. – № 3. – С. 31–39.

МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РУД ТУРУНТАЕВСКОЙ ЗОНЫ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ (ТОМСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Ничипурук Е. А.

Научные руководители профессор Е.Г. Язиков, доцент О.В. Савинова

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

На сегодняшний день запасы полезных ископаемых на полиметаллических месторождениях истощаются, особенно в отношении высококачественных ресурсов [1]. С учетом этого актуальность работы заключается в проведении исследования с целью расширения минерально-сырьевой базы Турунтаевской рудной зоны. Главной целью работы является изучение вещественного состава метасоматитов и руд по разрезу скважины 799. Методы исследования каменного материала (керна): оптическая микроскопия, рентгенофлуоресцентный анализ (РФА). При минералого-петрографических исследованиях применялся автоматизированный микроскоп Axioskop 40. Количественные определения химического состава выполнялись на энергодисперсионном спектрометре XGT-7200 фирмы Horiba.

Турунтаевская рудная зона расположена в 65 км от Томска, у села Турунтаево. Зона выявлена в 1964 году при проведении геолого-съемочных работ масштаба 1:50 000. В геохимическом поле Турунтаевская зона фиксируется субмеридиональной аномалией Zn, Cu, Pb, которая прослеживается как в кембрийских, так и в девонских отложениях. На участках наиболее интенсивной минерализации геохимические ореолы имеют более комплексный характер и к перечисленным элементам добавляются Hg, Sb, Ag, Bi, Ti, Zr, Mo.

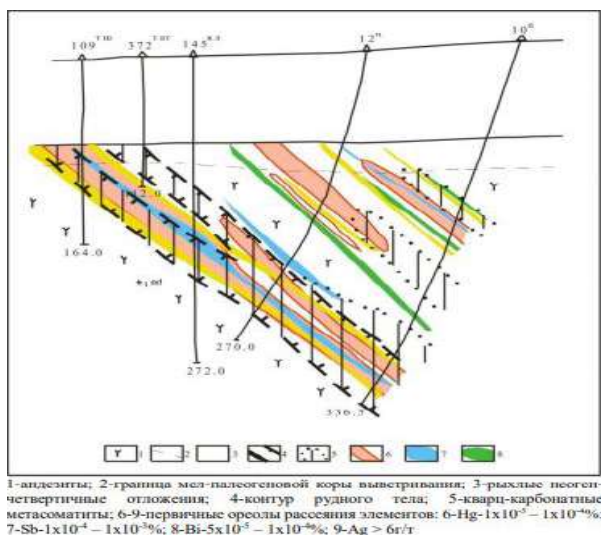


**Рис. 1. Геолого-геохимический разрез через Центральное рудопроявление Турунтаевской цинковой зоны
(по материалам Рубцова А.Ф., Бердникова А.П., 1983) [3]**

Рудам характерно значительное разнообразие текстур и структур. Текстуры могут быть прожилково-вкрапленные, сланцеватые или брекчиевидные. Самыми распространенными структурами руд являются тонкозернистая, кристаллически-зернистая, гранобластовая и гипидиоморфная. В большинстве руд сложный минеральный состав, основные рудные минералы – пирит, сфалерит, халькопирит и галенит [4]. Характеризуя сульфидную минерализацию Турунтаевского рудопроявления, следует отметить присутствие редких вкраплений галенита вместе со сфалеритом, усиленную пиритизацию метасоматитов, наличие пирита в ассоциации

со сфалеритом, халькопиритом и галенитом, а также широкое распространение рассеянных вкраплений и жил халькопирита. Рудоносность на данном участке низкая [2].

Рентгенофлуоресцентный метод основан на зависимости интенсивности характеристической флуоресценции элемента от его массовой доли в анализируемой пробе. Характеристическое флуоресцентное излучение, поступающее от анализируемой пробы во время определения, является результатом возбуждения атомов анализируемой пробы первичным излучением рентгеновской трубки. Возбуждение атомов элемента из анализируемой пробы, выделение из всего потока излучения спектральных линий, принадлежащих каждому из определяемых элементов, и измерение их интенсивности выполнены на энергодисперсионном спектрометре XGT-7200 фирмы Horiba. Интенсивность характеристической флуоресценции определяемых элементов пересчитывалась в единицы концентраций по математическим моделям, полученным в результате градуировки спектрометра с помощью программного обеспечения. Для определения химического состава использовались спектральные линии К-серии.

Таблица 1

Представительные анализы сфалерита (РФА), масс. %

№ п/п	S	Fe	Zn	Cd	Σ	Кристаллохимические формулы	Разновидность
1	31,13	5,77	62,86	0,23	99,99	(Zn _{0,98} (Fe _{0,10} , Cd _{0,002})) _{1,09} S ₁	Маложелезистая
2	31,48	6,13	62,00	0,39	100	(Zn _{0,96} (Fe _{0,11} , Cd _{0,003})) _{1,08} S ₁	Маложелезистая
3	32,02	4,92	62,73	0,33	100	(Zn _{0,96} (Fe _{0,09} , Cd _{0,003})) _{1,05} S ₁	Маложелезистая
4	26,95	1,78	70,76	0,51	100	(Zn _{1,3} (Fe _{0,04} , Cd _{0,005})) _{1,3} S ₁	Маложелезистая
5	29,59	1,06	69,10	0,25	100	(Zn _{1,14} (Fe _{0,02} , Cd _{0,002})) _{1,2} S ₁	Клейофан

Таблица 2

Представительные анализы сфалерита (РФА), масс. %

№ п/п	S	Mn	Fe	Cu	Zn	Cd	Hf	Σ	Кристаллохимические формулы	Разновидность
1	29,1	0,84	1,09	0,22	68,33	-	0,42	100	(Zn _{1,15} (Mn _{0,017} , Fe _{0,21} , Cu _{0,004} , Cd ₀ , Hf _{0,025})) _{2,19} S ₁	Клейофан
2	29,24	0,84	1,09	0,17	68,65	-	-	99,99	(Zn _{1,15} (Mn _{0,017} , Fe _{0,21} , Cu _{0,003} , Cd ₀ , Hf ₀)) _{2,19} S ₁	Клейофан
3	27,06	-	0,98	-	71,49	0,47	-	100	(Zn _{1,3} (Mn ₀ , Fe _{0,2} , Cu ₀ , Cd _{0,005} , Hf ₀)) _{2,32} S ₁	Клейофан
4	29,88	-	1,21	-	68,54	0,37	-	100	(Zn _{1,2} (Mn ₀ , Fe _{0,023} , Cu ₀ , Cd _{0,003} , Hf ₀)) _{2,15} S ₁	Маложелезистая
5	30,23	-	0,84	-	68,55	0,38	-	100	(Zn _{1,11} (Mn ₀ , Fe _{0,016} , Cu ₀ , Cd _{0,003} , Hf ₀)) _{2,13} S ₁	Клейофан

Турунтаевская рудоносная зона сравнивается со свинцово-цинковыми и медными месторождениями известных типов и оказывается больше похожей на объекты жильного типа с широким ореолом метасоматических изменений [2]. В процессе исследования был проанализирован вещественный состав руд Турунтаевской полиметаллической зоны, были подсчитаны количественные определения химического состава, которые выполнялись на энергодисперсионном спектрометре, а также по имеющимся данным была построена локальная схема минералообразования. Основываясь на представленной информации, можно заключить, что для данной рудной зоны характерны следующие особенности: широкое распространение метасоматических пород, метасоматизм – важный процесс в формировании этой зоны. Типичный минеральный состав метасоматитов: кварц, серицит, кальцит, доломит, анкерит, и (реже) хлорит, этот набор минералов указывает на определенный тип флюида и геохимические условия, преобладающие при метасоматизме. Количественные соотношения минералов в метасоматических породах значительно варьируются, что предполагает изменение условий метасоматизма, возможно, в пространстве и/или во времени. Эти факторы, вместе взятые, важны для понимания генезиса рудной зоны и могут помочь в дальнейших исследованиях и поисках полезных ископаемых. Изученный химический состав сфалерита представлен в таблицах 1 и 2. Для него характерно неравномерное строение в связи с неоднородным распределением концентраций изоморфных примесей химических элементов в пределах отдельных зерен. По наличию железа (Fe) выделены две разновидности: безжелезистая – клейофан, где Fe варьирует от 0 до 1,26 %, и маложелезистая с концентрациями железа до 7,64 % [4]. Вторые по распространению изоморфные примеси – Cd и Mn, но их концентрация не превышает 0,84 %. Примеси в виде гафния, стронция и хрома имеют значения не выше 0,55 %. Был произведен пересчет на формульные единицы результатов химических анализов минерала, которые показали, что формульный коэффициент серы варьирует в пределах теоретического значения, равного 1. Равномерные значения железа и серы, а также примеси в виде кобальта и мышьяка в малых количествах (Co – 0,08 %, As – 0,01 %). Главный рудный минерал – сфалерит, который содержит железо, кадмий, марганец, медь, хром, гафний, стронций.

Литература

1. Михайленко О.В. Организация экологической безопасности и разработки месторождений полиметаллических руд на природоохранных территориях (на примере Холоднинского месторождения): диссертация на соискание кандидата технических наук / Михайленко Олег Викторович. – Санкт-Петербург, 2011. – 159 с.

2. Отчет Искринской партии по общим поискам месторождений полиметаллических руд в 1979–81 гг. / А.Ф. Рубцов, В.А. Врублевский, В.В. Хахлов, Н.П. Артемьева. – Томск, 1981. – 186 с.
3. Турунтаевская зона цинковой минерализации. Отчет Петровской партии по поисковым работам за 1980–1983 гг. / А.Ф. Рубцов. – Томск: ТГРЭ, ТФ Томскгеолкома, 1983. – 26 с.
4. Минералого-геохимические особенности руд месторождения Кумроч, Восточная Камчатка / В. М. Округин, К.О. Шишканова, Т.М. Философова // Руды и металлы. – 2019. – С. 1-13.

ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ РУД НОВО-УРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (КЕМЕРОВСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Радюк Е. В.

Научный руководитель профессор Е. Г. Языков

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Ново-Урское месторождение расположено в восточной части Урского рудного поля, представляющего собой в плане линзовидный горизонт вулканитов, залегающих среди карбонатных и терригенно-карбонатных пород. Руды преимущественно сплошные колчеданные с повышенным содержанием серы, сложены на 50-90 % пиритом. В данной работе освещены результаты проведенных геологоразведочных работ за различные периоды по части минерального состава руд: изучены текстурно-структурные особенности, минеральный состав, и некоторые особенности генезиса руд, представлена схема последовательности минералообразования.

Ново-Урское месторождение входит в состав Урской группы месторождений, принадлежащей к северо-восточной окраине Салаирского кряжа. Территориально расположено в Кемеровской области Гурьевского района. Открыто месторождение в 1932 году поисковым отрядом ГРБ Салаирского рудника под руководством студента-практиканта Томского университета Килеева. Первый этап геологоразведочных работ проведен 1938-1939 гг., под руководством Н. Д. Довгаль. Второй этап разведки, завершившийся утверждением запасов, проведен в 1949-1954 гг. под руководством И. К. Неклюдова.

Месторождение представляет собой крутопадающую линзу с плавным выклиниваем сплошных и промышленных руд как на флангах, так и по глубине. Мощность рудного тела изменяется в широких пределах: от 1,5 м до 85 м. В геологическом строении месторождения принимают участие следующие породы: кварц-хлоритовые, хлорит-серицитовые и серицит-хлоритовые, кварц-серицитовые, кварц-альбитовые, графитовые, туфогенные, глинистые, известково-углистые сланцы, графитосодержащие известняки, вторичные кварциты и порфиroidы.

Кварц-хлоритовые сланцы имеют наибольшее распространение и составляют основной фон месторождения, занимая в нем 75-80 % всей площади. Залегают в виде мощной полосы, вытянутой в СЗ направлении, мощностью 700 метров, выклинивания на глубине не прослежено. По внешнему облику это зеленые, темно-зеленые, серовато-зеленые породы. В наиболее рассланцованных разностях кроме хлорита и мелкозернистой основной массы ничего не наблюдается. Кварц-хлоритовые сланцы наиболее сильно подвержены вторичному окварцеванию, местами переходят в типичные кварциты и секутся серией беспорядочно расположенных кварцевых и карбонатно-кварцевых жил.

Рудное тело Ново-Урского месторождения залегает согласно с рассланцовкой вмещающих пород и характеризуется хорошей выдержанностью элементов залегания как по простиранию, так и по падению. Выделяется 3 разновидности руд: сплошные, прожилково-вкрапленные, вкрапленные, четкую границу между ними можно провести не всегда. Взаимоотношение рудных тел и вторичных кварцитов с вмещающими породами показывают, что на месторождении были широко развиты процессы метасоматического замещения. В рудном теле хорошо можно видеть все последовательные стадии замещения рудными компонентами вмещающих кварц-серицитовых сланцев. Руды месторождения состоят из следующих промышленных компонентов, содержащихся в значительных количествах: цинка, меди, свинца, барита, серы, серебра, золота. Наиболее распространенными является сера - среднее содержание по месторождению 38,28 %, барит – 8,44 % (в отдельных пробах до 50 %), цинк – 2,44 % (до 28 %), медь – 1,05 % (до 9 %).

Сплошные руды почти нацело состоят из рудных минералов: пирита, сфалерита, халькопирита, теннантита, галенита, арсенопирита, золота и серебра. Пирит является преобладающим рудным минералом и составляет 50-90 % рудной массы. Редкие минералы: гематит, магнетит, борнит, антимонит, алтаит, гессит, калаверит, аргентит, самородное золото, киноварь. Из нерудных присутствуют в подчиненном количестве: барит, серицит, кварц и кальцит. В резко подчиненном количестве присутствуют альбит, рутил, турмалин. Схема минералообразования представлена в таблице. Основные текстуры сплошных руд: полосчатая, массивная и в меньшей мере – друзовая. В генетическом отношении полосчатость обусловлена реликтовой метасоматической текстурой, так как оруденение, следуя рассланцовке повторяет всю структуру вмещающих пород.

Прожилково-вкрапленные и вкрапленные руды состоят из чередующихся прослоев сплошных и вкрапленных руд различной мощности от сантиметров до метров. Они сложены теми же минералами в прослоях сплошных руд и содержат густую вкрапленность сульфидов во вмещающих кварц-серицитовых сланцах. Последние, свою очередь обогащены в основном пиритом, в подчиненном количестве сфалеритом и изредка халькопиритом. Остальные компоненты находятся в сотых долях процента или отсутствуют совершенно.

Пирит является преобладающим рудным минералом. На месторождении составляет от 50 до 90 % рудной массы размер зерен 0,05-0,1-0,3 мм. Включения среди нерудных минералов и сфалерита в полосчатых рудах составляет 0,08-0,2 мм. Встречается в 3-х формах проявления: тонкокристаллический, крупнокристаллический и зоны вкрапленников.

Сфалерит характерен неравномерным развитием в руде. Содержание сфалерита в отдельных случаях

достигает до 50 % рудной массы. Местами же он отсутствует совсем. Крупные выделения имеют размер зерен 0,5–5 мм. Выделение барита среди пирита имеют размер зерен 0,1–0,2 мм, а по межзерновым промежуткам пирита 0,05–0,1 мм. Встречаются две разновидности сфалерита: марматит и клейофан. В сплошных рудах наблюдается преимущественно марматит, клейофан встречается чаще всего в прожилково-вкрапленных рудах в виде мелкозернистых включений. Особенно тесно ассоциация сфалерита наблюдается с тонкокристаллическим пиритом. Весьма тесно ассоциируют описанный минерал с галенитом, довольно часто парагенетически связан с халькопиритом и блеклой рудой, гораздо реже удается наблюдать ассоциацию сфалерита с арсенопиритом.

Халькопирит достаточно распространен среди сплошных руд месторождения. Иногда занимает до 25 % от всей рудной массы, размер зерен от 0,05–0,7 мм. Наиболее часто описываемый минерал развивается среди полос или участков крупного кристаллического пирита, заполняя промежутки между его зернами и разъедая последними. В описываемых случаях почти всегда теснейшим образом ассоциируется с блеклой рудой. Здесь же довольно часто описываемый минерал ассоциируется со сфалеритом.

Блеклая руда не образует в рудах больших скоплений, а встречается лишь в виде маломощных тонких прожилков в сплошной руде, размер зерен составляет 0,02–0,1 мм. Наиболее тесная ассоциация наблюдается с халькопиритом.

Борнит встречается очень редко и в различной форме включений среди пирита сфалерита, галенита и ковеллина.

Галенит в описываемых рудах встречается достаточно редко, развивается в виде неправильных форм, размеры включения от первых 100 до 10 мм. Особенно тесно ассоциируются со сфалеритом, в котором он развивается в промежутках между его зернами интенсивно их разъедая.

Арсенопирит довольно распространенный минерал в рудах месторождения. Встречается он в виде единичных рассеянных зерен. Размер зерен чаще всего составляет 0,2–0,5 мм в поперечнике. Проявляется в различных условиях по-разному. Арсенопирит, находящийся среди сфалерита, имеет зерна промежуточного размера среди описанных разновидностей. Очертание зерен идиоморфное, часто они бывают интенсивно корродированы сфалеритом, вплоть до образования скелетных структур.

Ковеллин достаточно часто встречается, но почти всегда присутствует в подчиненном количестве по отношению к другим минералам. Развивается не только по первичным медьсодержащим минералам (халькопирит, блеклая руда, борнит), а также по сфалериту и галениту, наиболее часто встречается в халькопирите. Более интенсивно замещается ковеллином блеклая руда, в сфалерите ковеллин наблюдается реже. Особенно энергично протекает замещение борнита.

Халькозин встречается в рудах редко в виде очень тонких оторочек на границе пластинок халькопирита с ковеллином.

Кварц является весьма распространенным жильным минералом. Он присутствует в виде 2-х генераций: к первой генерации относится тонкий метасоматический кварц, интенсивно пронизывающий вмещающую породу в зоне интрузии. Ко второй генерации относится более крупнозернистый кварц, сопровождающий отложения пирита и арсенопирита, эта разновидность в участках редкой вкрапленности часто в виде оторочки нарастает на затемненных гранях пирита и арсенопирита.

Серицит очень распространенный минерал месторождения. Около рудных тел он образует мощные зоны минерализованных пород, несколько суженных в центральной части и, расстилающиеся на флангах.

Барит в пределах рудного тела является преобладающим жильным минералом, особенно много его среди участков, обогащенных сфалеритом, размер зерен 0,01–0,5 мм. В рудах существенно пиритового состава встречается редко. Барит интенсивно разъедает пирит и арсенопирит. В зоне убогой вкрапленности развит очень слабо.

Кальцит частый минерал зоны вкрапленников. В сплошных рудах заполняет трещинки, кристаллизуясь перпендикулярно стенкам трещин.

Таблица

Схема минералообразования в рудах Ново-Урского месторождения

Минералы	Эпохи минералообразования		
	Гипогенная		Супергенная
	I стадия	II стадия	
Кварц	—	—	
Серицит	—		
Пирит	—		
Арсенопирит	—		
Барит		—	
Сфалерит		—	
Халькопирит		—	
Борнит		—	
Блеклая руда		—	
Галенит		—	
Кальцит		—	
Халькозин			—
Ковеллин			—

Итак, Ново-Урское месторождение является типичным колчеданным месторождением, представляющим собой выдержанную линзу, в основном сложенную сплошными рудами, которые почти нацело состоят из сульфидов с небольшим содержанием нерудных минералов. Руды существенно состоят из пирита и лишь участками, обогащены сфалеритом и халькопиритом. Из жильных минералов присутствуют барит, серицит, кварц и кальцит. Вещественный состав руд, характер жильной минерализации и изменений вмещающих пород свидетельствуют о гидротермальном происхождении месторождения. Комплекс минералов, слагающих рудное тело и продукты гидротермального изменения боковых пород, свидетельствуют о том, что Ново-Урское месторождение формировалось в условиях средних глубин. Рудное тело сложено в основном сплошными рудами, окруженное, в свою очередь, ореолом прожилково-вкрапленных, вкрапленных руд и минерализованных пород. Все типы руд имеют промышленные содержания меди, цинка и серы.

Литература

1. Казицын Ю.В. Метасоматизм гидротермальных месторождений / Ю.В. Казицын. – Л.: Недра, 1972. – 145 с.
2. Лодочкиков В.Н. Главнейшие породообразующие минералы / В.Н. Лодочкиков. – М. Недра, 1974. – 248 с.
3. Методика изучения гидротермально-метасоматических образований / Е.В. Плющев, О.П. Ушаков, В.В. Шатов, Г.М. Беляев. – Л.: Недра, 1981. – 262 с.
4. Наковник Н.И. Вторичные кварциты СССР и связанные с ними месторождения полезных ископаемых / Н.И. Наковник. – М.: Недра, 1968. – 335 с.
5. Неклюдов И.К. Отчет о геологоразведочных работах и подсчет запасов по Ново-Урскому месторождению по состоянию на 1.01.1955г / И.К. Неклюдов – Главгеология МЦМ Урская ГРП, 1955. – 275 с.

ГЛИНИСТЫЙ МАТРИКС ОСАДКОВ МЕТАНОВЫХ СИПОВ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ: ПОИСК НОВЫХ МИНЕРАЛОГИЧЕСКИХ ИНДИКАТОРОВ СПЕЦИФИЧЕСКОГО ДИАГЕНЕЗА

Рудмин М.А., Рубан А.С.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Активные метановые сипы [1] изменяют минеральный и химический состав осадочных отложений [2]. Интенсивная миграция метановых флюидов и процессы анаэробного окисления метана создают восстановительные условия в осадках, что приводит к формированию отличительных минералогических ассоциаций [3]. В таких условиях особенно важны глинистые минералы, поскольку их структура и химический состав чутко реагируют на изменения геохимической среды и диагенетические преобразования [4].

Цель работы – изучение распределения и кристаллохимических характеристик глинистых минералов в осадках метановых сипов шельфа моря Лаптевых. В рамках достижения цели использовался комплексный аналитический подход, включающий следующие методы: рентгенодифракционный анализ (РДА), сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) с локальным энергодисперсионным анализом (ЭДС), просвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ) с локальной электронной дифракцией (ЛАЭД).

Минеральный состав изученных проб представлен преимущественно кварцем (40–63 %), плагиоклазами (24–29 %) и калиевыми полевыми шпатами (8–12 %). Второстепенные минералы включают галит, диопсид, кальцит и доломит с содержанием до 4 %. Глинистая фракция общего состава состоит в основном из иллита (4–13 %), хлорита (1–8 %), а также каолинита и смешанослойных образований (<2 % и <1 % соответственно).

Более детальное изучение глинистой фракции выявило, что иллит и хлорит являются доминирующими минералами как в осадках сипов, так и в фоновых пробах. Среднее содержание иллита в глинистой фракции сипов составляет около 50 %, хлорита – 22.8 %. Ключевым отличием «сиповых» осадков является заметное повышение содержания смектита (в среднем 4.8 %), в то время как в фоновых осадках его концентрация существенно ниже (0.8 %). Также отмечено небольшое снижение концентраций каолинита и смешанослойных минералов (10.7–11.8 %) относительно фоновых условий (11.8–13.3 %).

Минералогические особенности сиповых осадков обусловлены не только количественными соотношениями глинистых минералов (филлосиликатов), но и их структурно-химическими характеристиками. Среди филлосиликатов наибольший интерес представляют слюды с дефицитом межслоя и смектиты, характеризующиеся изменчивостью межплоскостных расстояний и формированием смешанослойных структур.

Иллит в сиповых осадках отличается высокой степенью кристалличности. Толщина отдельных частиц, по данным электронной микроскопии, варьируется в пределах 20–100 нм, а агрегатов до 200 нм. Межплоскостные расстояния кристаллических пакетов иллита варьируются от 10.6 до 11.3 Å, что отражает присутствие как классических иллитов, так и смешанослойных иллит-смектитов. По результатам анализа химического состава иллит сипов характеризуется повышенным содержанием $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{общ}}$ (среднее 11.3 %), MgO (3.8 %) и Na_2O (2.3 %), а также снижением SiO_2 (55.2 %) относительно фоновых осадков. Кристаллохимические показатели иллита сипов демонстрируют повышение содержания железа в октаэдрических позициях, увеличение отношения $\text{Fe}_{\text{окт}}/(\text{Fe}+\text{Mg}+\text{Al})_{\text{окт}}$ и снижение $\text{Al}_{\text{тетр}}$ относительно фоновых условий (рис. 1).

Смектиты представлены тонкопластинчатыми агрегатами с выраженной слоистой структурой и толщиной кристаллических пакетов 12–14 нм. Химический состав смешанослойных минералов (иллит-смектит, глауконит-смектит), выявленных в сиповых осадках, отличается высоким содержанием MgO , $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{общ}}$ и относительно низким K_2O (до 2.6 %). Кристаллохимические параметры демонстрируют повышенное содержание $\text{Fe}_{\text{окт}}$ (до 0.8 ф.е. (формульные единицы)) и $\text{Al}_{\text{тетр}}$ (до 0.9 ф.е.), подтверждая активные процессы восстановления и аутигенной трансформации в специфических условиях сипов.

Хлориты, преобладающие за пределами силовых зон, характеризуются упорядоченной структурой с базальным периодом около 14 Å и идентифицированы преимущественно как Fe-хлориты типа шамозит. Данные электронной дифракции и микроскопии подтверждают их стабильность в пределах зон метанового воздействия.

Метановое воздействие выражается также в образовании субмикронных кристаллов пирита и накоплении серы до 2.6 %, что подчёркивает интенсивность процессов сульфидизации в глинистом матриксе. Полученные данные свидетельствуют о том, что кристаллохимические изменения в глинистых минералах обусловлены специфическим диагенезом и являются важными индикаторами геохимических условий в осадочных бассейнах с активными метановыми эмиссиями.

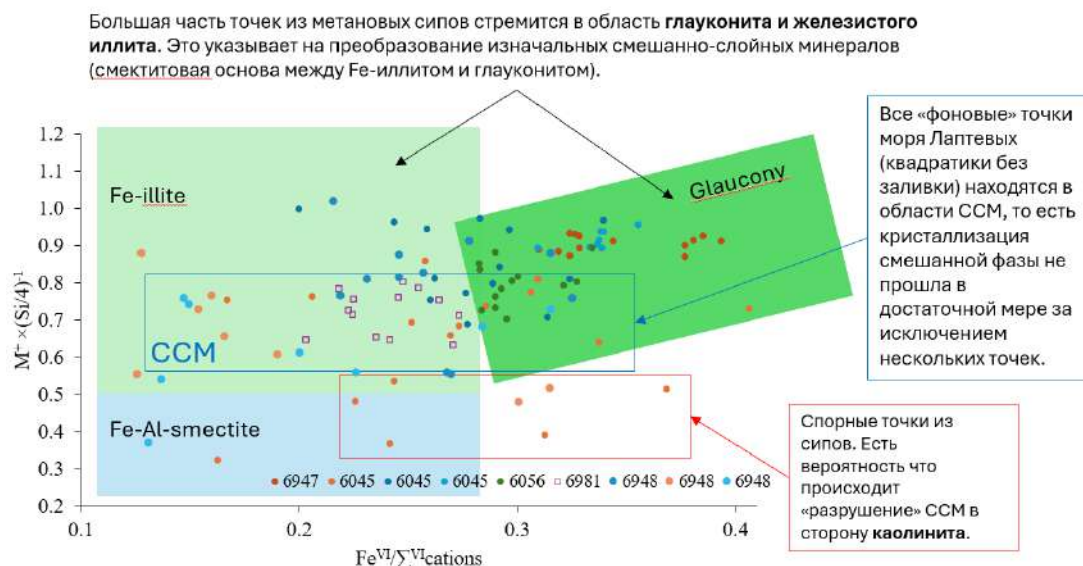


Рис. 1. Диаграмма отношения суммарного межслоевого заряда к 1/4 ф.е. кремния и отношения ф.е. железа к сумме октаэдрических катионов согласно [5,6] с авторскими аннотациями и интерпретациями

Воздействие активных метановых силовых зон на глинистый матрикс осадков моря Лаптевых инициирует процессы железистой иллитизации и глауконитизации, которые могут выступать индикаторами диагенетической трансформации подобных отложений. Несмотря на то, что процессы формирования железистого иллитита и глауконита в изученных осадках не достигли завершающих стадий, прослеживается тенденция постепенной трансформации в сторону минералов с высокой степенью структурного упорядочения. Анализ соотношений октаэдрических катионов и межслоевых гидратированных ионов относительно алюминия в тетраэдрических позициях позволяет выделять области влияния метановых флюидов и диагностировать границы зон активного диагенеза. Дополнительным признаком активного влияния метановых просачиваний является устойчивое присутствие серы (до 2.6 %) в составе глинистых минералов и формирование субмикронных (560-640 нм) кристаллов пирита субсферической формы со следами микробных филаментов на их поверхности, что подчёркивает микробно-геохимическую природу протекающих процессов. Исследование состава и кристаллохимии глинистой фракции осадков рекомендуется использовать в качестве перспективного подхода для определения или поиска процессов современных или палеопросачиваний и оценки их интенсивности в осадочных бассейнах.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ 23-77-10002 «Метановые силовы как уникальные минералообразующие системы в морях Российской Арктики».

Литература

1. Etiope G. Geologic emissions of methane to the atmosphere / G. Etiope, R.W. Klusman // Chemosphere. – 2002. – Vol. 49. – № 8. – P. 777–789.
2. Ruban A. The influence of cold seepage on the grain size and geochemistry of sediments from the Laptev Sea shelf / A. Ruban, T. Tommaso, E. Yaroshchuk, D. Kosmach, M. Rudmin, E. Gershelis, O. Dudarev, A. Mazurov, I. Smiletoev // Marine and Petroleum Geology. – 2024. – Vol. 160. – P. 106638.
3. Ruban A. Cold-seep carbonates of the Laptev Sea continental slope: Constraints from fluid sources and environment of formation / A. Ruban, M. Rudmin, O. Dudarev, A. Mazurov, D. Chernykh, I. Smiletoev // Chemical Geology. Elsevier. – 2022. – Vol. 610. – P. 121103.
4. Zhang J. Microbial reduction of Fe (III) in illite-smectite minerals by methanogen Methanosarcina mazei / J. Zhang, H. Dong, D. Liu, T. Fischer, S. Wang, L. Huang // Chemical Geology. – 2012. – Vol. 292. – P. 35–44.
5. Meunier, A. The glauconite-Fe-illite-Fe-smectite problem: A critical review / A. Meunier, A. El Albani // Terra Nova. – 2007. – Vol. 19. – № 2. – P. 95–104.
6. Baldermann A. The role of Fe on the formation and diagenesis of interstratified glauconite-smectite and illite-smectite: A case study of Lower Cretaceous shallow-water carbonates / A. Baldermann, M. Dietzel, V. Mavromatis, F. Mittermayr, L. Warr, K. Wemmer // Chemical Geology. Elsevier. – 2017. – Vol. 453. – P. 21–34.

СТРУКТУРНО-МЕТАСОМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МЕДНО-ПОРФИРОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ АКТОГАЙ ПО МАТЕРИАЛАМ ДИСТАНЦИОННЫХ СЪЕМОК

Сейров Ф.Е.

Научный руководитель Ю.С. Ананьев

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

В статье рассматривается вопрос разработки прогностических критериев медно-порфирового оруденения в материалах дистанционных съемок для медно-порфировых месторождений на примере рудного поля Актогай, расположенного в Абайской области Казахстана. Это рудное поле объединяет медно-порфировые месторождения Актогай, Айдарлы, Кызылкия и ряд рудопроявлений. Расположение объекта в области засушливого климата с низкими перепадами высот и достаточная обнаженность рудного поля позволяют рассматривать этот объект как типовой для проведения дистанционных исследований.

Актогайское рудное поле расположено в Баканас-Алакольском сегменте фронтальной области Прибалхашско-Илийского окраинно-континентального вулканоплутонического пояса [9]. В составе Прибалхашско-Илийского вулканоплутонического пояса преобладают позднепалеозойские вулканогенно-осадочные толщи преимущественно среднего и кислого состава. Интрузивные образования представлены в основном гранодиоритами, вытянутые тела которых часто ориентированы по простиранию пояса.

В Актогайское рудное поле входят рудное поле Актогай, Кызылкия и Айдарлы. Месторождение Айдарлы расположено к северо-западу от Актогая на расстоянии 4–5 км, к северо-востоку от Актогая, на расстоянии 5–6 км расположено месторождение Кызылкия. В непосредственной близости от перечисленных объектов расположен ряд мелких рудопроявлений. Рудное поле располагается в пределах проявления трёхфазного Актогайского интрузивного комплекса средне-позднекарбонатового возраста. В составе комплекса преобладают диориты, grano-диориты, габбро-диориты первой фазы. По периферии выходящей на поверхность части комплекса отмечаются выходы гранитов и гранит-порфиров второй и третьей фаз комплекса. Осадочные образования непосредственно вблизи от месторождений Актогай и Айдарлы представлены вулканогенно-осадочными породами кергетасской свиты (C₂-зKg₂). Кергетасская свита представляет собой переслаивания игнимбритов сложного состава и туфов преимущественно риолитового и дацитового состава. В структурном плане рудное поле находится в присводовой части Колдарской (Актогайской) горст-антиклинали. Разрывная тектоника представлена протяжёнными нарушениями северо-восточного и северо-западного простирания [7, 8].

Работа выполнялась по материалам космических съемок Landsat-8, Aster и цифровой модели рельефа SRTM и включала в себя следующие шаги:

- 1) подбор материалов космических съёмок Landsat, Aster и SRTM;
- 2) первичная обработка, улучшение, радиометрическая калибровка, классификация исходных растровых изображений и их структурное дешифрирование;
- 3) для цифровой модели рельефа выполнялись отмычка рельефа и направленные дифференцирование;
- 4) создание мультиспектральных изображений из моноканальных растров и их структурное дешифрирование;
- 5) расчёт минеральных индексов [3–5]. Используемые минеральные индексы по материалам Aster и их интерпретация приведены в таблице;
- 6) анализ SWIR диапазона ASTER методами ложных цветов и главных компонент [1, 6];
- 7) картирование метасоматитов с использованием метода спектрального угла;
- 8) геологическая интерпретация всего комплекса полученных материалов;
- 9) обоснование метасоматических и структурных факторов контроля медно-порфирового оруденения Актогай.

Таблица

Минеральные индексы по материалам Aster no (2-6)

Индекс	Формула вычисления	Интерпретация
Филлизиты и аргиллизиты (каолинит, монтмориллонит, иллит, смектит, алунит, кварц, серицит)		
KLI	$(band4 / band5) * (band8 / band6)$	Каолинит
Fillit	$(band5 + band7) / band6$	Слюдистые минералы (преимущественно серицит)
OHI	$(band7 / band6) * (band4 / band6)$	ОН-содержащие минералы (гидрослюды)
Пропилиты (эпидот, хлорит, амфибол, кальцит)		
Amf±MgOH	$(band6 + band9) / band8$	Амфибол, MgOH-содержащие минералы (эпидот, хлорит)
RBD8	$(band7 + band9) / band8$	Эпидот±хлорит±карбонат
MgOH	$Band7 / band8$	MgOH-содержащие минералы (эпидот, хлорит)
Ep±Chl±Amf	$(band6 + band9) / (band7 + band8)$	Эпидот±хлорит±амфибол
CLI	$(band6 / band8) * (band9 / band8)$	Кальцит
Кварц-серицитовые и кварцевые метасоматиты		
MI ³	$(band12 * band14 * band14 * band14) / (band13 * band13 * band13 * band13)$	Участки окварцевания, основность горных пород.

Структурный анализ изображений позволил выявить следующие группы разрывных нарушений:

1) разломы запад-северо-западного и северо-западного простирания, продольные по отношению к Баканас-Алакольскому сегменту Прибалхашско-Илийского ВПП. В пределах рудного поля распространены преимущественно в центральной и восточной его частях. Месторождения Актогай, Айдарлы, Кызылкия размещаются непосредственно в зоне их влияния. Имеют наибольшую протяженность среди всех представленных типов, могут достигать сотен км. В пределах поля их отдельные сегменты, ограниченные ортогональными разломами, прослеживаются на 2–3 км;

2) разломы северо-восточного простирания, поперечные по отношению к простиранию Баканас-Алакольского сегмента Прибалхашско-Илийского ВПП. В пределах рудного поля распространены равномерно. Являются наиболее распространенным типом разрывных нарушений на рассматриваемой территории. Рудные штокверки месторождений Актогай, Айдарлы, Кызылкия сопряжены с ними. Простираются от первых км до первых десятков км;

3) редкие разломы преимущественно северо-северо-западного и субмеридионального простирания, диагональные по отношению к ВПП. В пределах рудного поля распространены незначительно. Чаще встречаются на периферии, отмечаются также между рудными зонами месторождений Актогай и Айдарлы. Как правило имеют протяженность не более 2–5 км.

Анализ результатов выявления разрывных нарушений позволяет определить структурное положение месторождений в пределах поля как зоны сопряжения продольных и поперечных разломов по отношению к Баканас-Алакольскому сегменту Прибалхашско-Илийского ВПП.

Постопоставление результатов определения метасоматитов при использовании различных методов позволило выявить следующие разновидности метасоматически измененных пород:

1) кварц-серицитовые и кварцевые метасоматиты. Они выявляются по значимым величинам индекса MI^3 , ONI , $fillit$. Им соответствует главная компонента, имеющая наиболее низкие собственные значения векторов в 7 спектральном диапазоне Aster;

2) филлизитовые и аргиллизитовые метасоматиты проявляются в оттенках розового в композите 4,6,8. Их положение отвечает значимым величинам индексов KLI , ONI , $Fillit$. Их положение также фиксируется главной компонентой с низкими значениями для 7 канала Aster;

3) Пропилитовые метасоматиты проявляются в зеленоватых тонах в композите 4,6,8. Их положение фиксируется по значимым величинам индексов CLI , $Amf \pm MgOh$, $RBD8$, $MgOH$, $Ep \pm Chl \pm Amf$. В методе главных компонент они выявляются по низким значениям собственных векторов для 8 канала.

Выявленные в дистанционных данных метасоматиты образуют зонально построенный ореол, в котором от тыловых до фронтальных областей месторождений представлены следующие сменяющиеся друг-другом зонами: зона кварц-серицитовых метасоматитов, представленная отдельными проявлениями размерами от 400 м до 1 км, часто пространственно совпадающая с рудными штокверками; зона филлизитовых и аргиллизитовых метасоматитов, представленная проявлениями от первых сотен метров до первых км, метасоматиты этой зоны, как правило, занимают положение в интервале от 100 м до 2 км от рудных штокверков; зона пропилитовых изменений, представленная преимущественно в области от первых сотен метров до 5–6 км от рудных штокверков.

Таким образом, положение метасоматического ореола и рудных штокверков месторождений Актогай, Айдарлы и Кызылкия контролируется зонами сопряжения разломов запад-северо-западного простирания, продольных простиранию ВПП и разломов северо-восточного простирания, поперечных по отношению к ВПП. Метасоматиты представлены тремя метасоматическими зонами – кварц-серицитовые, филлизитовые и пропилитовые. Положение рудных штокверков соответствует положению выявляемых в дистанционных данных кварц-серицитовым метасоматитов.

Литература

1. Crosta A.P. Enhancement of Landsat Thematic Mapper imagery for residual soil mapping in SW Minas Gerais State Brazil, a prospecting case history in greenstone belt terrain // *Proceedings of the 7th ERIM Thematic Conference on Remote Sensing for Exploration Geology*, 1989. – 1989.
2. Hewson R.D. et al. Seamless geological map generation using ASTER in the Broken Hill-Curnamona province of Australia // *Remote Sensing of Environment*. – 2005. – Т. 99. – № 1-2. – С. 159-172.
3. Kalinowski A. ASTER Mineral Index Processing Manual Compiled by Remote Sensing Applications Geoscience / A. Kalinowski, S. Oliver // Australia, Center of Geographic Sciences. – 2004. – 36p.
4. Ninomiya Y.A. Stabilized Vegetation Index and Several Mineralogic Indices Defined for ASTER VNIR and SWIR Data / Y. Ninomiya // *In Proceedings of the IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, Toulouse, France, 21–25 July 2003. – V 3. – P. 1552–1554.
5. Ninomiya Y. Thermal infrared multispectral remote sensing of lithology and mineralogy based on spectral properties of materials / Y. Ninomiya., B. Fu // *Ore Geol. Rev.* – 2019. – V. 108–54. – P. 72.
6. Ready P.J. Information extraction, SNR improvement, and data compression in multispectral imagery / P.J. Ready, P.A. Wintz // *IEEE Trans. Commun.* – 1973. – V. 21 – P. 1123-1130.
7. Беспяев Х.А., Париков Ю.С. Условия образования месторождений меди, свинца, цинка и железа Казахстана // Алматы: «Гылым». – 1999. – 1999.
8. Геологическая карта: L-(43), (44) (Талды-Курган). Геологическая карта СССР. Геологическая карта, масштаб: 1:1000000; ФГБУ «ВСЕГЕИ». – 1974.
9. Мазуров А.К. Геодинамические обстановки формирования металлогенических комплексов Казахстана: дис. – 2003.

ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ РУД УРАНОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЮЖНЫЙ КАРАМУРУН
Уезбаев Ж.Н.

Научный руководитель профессор Е.Г. Языков

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Месторождение урана Южный Карамурун, было выявлено в результате поисково-разведочных работ Краснохолмского производственно-геологического объединения, по северо-западному обрамлению хребта Большой Каратау за период 1973–1981 гг. По запасам урана Карамурунское рудное поле является одним из наиболее крупных в Сырдарьинской и Кызылкумской ураново-рудных провинциях.

Административно территория Карамурунского рудного поля принадлежит Шиелийскому и Жанакорганскому районам Кызылординской области Республики Казахстан. Все рудные объекты Карамурунского рудного поля относятся к широко проявленному в Средней Азии учкудукскому типу инфильтрационных месторождений и локализуются в песчаных водоносных высоконапорных горизонтах верхнемеловой толщи. Гидрогеологические и инженерно-геологические условия месторождений делают рентабельной их отработку только способом подземного выщелачивания. Глубина залегания кровли рудовмещающего водоносного горизонта в соответствии с геолого-структурными условиями месторождения изменяется с севера на юг и составляет в северной части 400–500 м, в центральной 500–550 м, в южной 600–635 м. На большей части площади месторождения рудовмещающий водоносный горизонт залегает на глубинах от 400 до 500 м.

Морфология уранового рудообразования, как в плане, так и в разрезе, неразрывно связана со строением области выклинивания зоны пластового окисления, так как рудообразование и зона пластового окисления являются членами единой окислительно-восстановительной зональности. Кроме того, на морфологию уранового и селенового рудообразования и их взаимоотношения большое влияние оказывают геохимические условия рудовмещающих отложений. Основной формой урановых и селеновых рудных тел месторождения Южный Карамурун является ролл. Однако, в изменчивой литолого- геохимической обстановке месторождения классические полные роллы, как правило, не образуются. Фактически наблюдаемые формы обособленных скоплений руд обоих элементов лишь приближенно отвечает неполным, сложным роллам, с отсутствием одного или обоих крыльев, а иногда – мешковой части.

По гранулометрическому составу урановые руды относятся к средне- и мелкозернистым.

Урановая минерализация в рудах присутствует в тонкодисперсной минералогически недиагностируемой форме, в виде новообразованных урановых минералов, терригенных урановых и урансодержащих минералов и урансодержащего органического вещества. Распределяется она в основной части песчаных руд. Основной минеральной формой урана является коффинит, реже диагностируются настуран и урановая чернь. До 3–5 % урана присутствует во вторичных урановых минералах, в сорбированном состоянии в урансодержащих обломочных зернах, титановых минералах, глинистом веществе и растительной органике.

Характерной особенностью в распределении урановой минерализации является ее тесная связь с дисульфидами железа и углефицированным растительным детритом.

Коффинит является основным минералом урановых руд. Встречается в виде микрокристаллических и коломорфных выделений в цементе пород. Под электронным микроскопом имеет вид столбчатых, веретенообразных и желедеобразных кристаллов на поверхности зерен кварца и других породообразующих минералов.

Настуран устанавливается в виде скрытокристаллических масс черного цвета, почковидных образований и глобулей размером в доли микрона до 1–5 микрон, располагающихся на зернах кварца, хлорита, полевых шпатов, на глинистых минералах и в цементе пород.

Самородный гамма-селен является основным минералом селеновых руд и представлен мелкими тонкоигльчатými кристаллами, их сростками, сплошными массами и сферолитами, состоящими из спутано-волоконистых и радиально-лучистых агрегатов. Селен выступает в качестве цемента крупнозернистого песчаника. Соединения селена – сильнейшие окислители.

Таблица 1

Химический состав руд, содержание в %

Содержание в %										
MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	Fe O	Na ₂ O
0,21	6,51	88,12	0,02	1,88	0,17	0,17	1,02	1,7	0	0,56

Химический анализ руд показывает высокое содержание кремнезема, а также присутствие оксидов алюминия, железа и калия.

Химический и минералогический состав руд месторождения Южный Карамурун представленный в таблице № 1 и № 2 подтверждает возможность их промышленного освоения методом подземного выщелачивания. Перспективы дальнейших исследований связаны с изучением геохимических особенностей рудного тела и улучшением технологий извлечения урана.

Таблица 2

Минералогический состав рудных песков

Растворимость в кислотах	Минералы	Весовые %
Нерастворимые	Кварц	72,03
	Акцессории	0,11
	Обломки кремнистых пород	6,78
	Итого:	78,92
Труднорастворимые	Полевые шпаты	12,87
	Мусковит	0,11
	Каолинит	3,29
	Гидрохлориды	0,98
	Монтмориллиниит	2,73
	Органическое вещество	0,07
	Итого:	20,05
Растворимые	Настуран	0,02
	Коффинит	0,05
	Карбонаты	0,24
	Лимонит	
	Биотит	0,02
	Сульфиды	0,7
	Итого:	1,03
	Всего	100

Литература

1. Гаврилов И.Н. Минералогия и геохимия урановых руд / И.Н. Гаврилов. – М.: Наука, 2015. – 253 с.
2. Языков В.Г., Рогов Е.И., Рогов А.Е. Геотехнология урана на месторождениях Казахстана / В.Г. Языков, Е.И. Рогов, А.Е. Рогов. – Алматы 2001. – 442 с.
3. Языков В.Г. Особенности изучения геотехнических свойств руд и геотехнологических условий урановых месторождений гидрогенного типа. Проектирование комплекса работ при подземном скважинном выщелачивании металлов / В.Г. Языков. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 213 с.

**ТЕРМОБАРОМЕТРИЯ ПОРОД КИЧАНСКОЙ СТРУКТУРЫ В СОСТАВЕ АРХЕЙСКОГО
ТИКШЕОЗЕРСКОГО ЗЕЛЕНОКАМЕННОГО ПОЯСА ФЕННОСКАНДИНАВСКОГО ЩИТА
НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МНОЖЕСТВА МИНЕРАЛЬНЫХ РЕАКЦИЙ
(МУЛЬТИРАВНОВЕСИЙ)**

Усольцева А.Е.¹

Научный руководитель профессор Ш.К. Балтыбаев²

^{1,2}**Санкт-Петербургский государственный университет, Институт наук о Земле,
г. Санкт-Петербург, Россия**

²**Институт геологии и геохронологии докембрия РАН, г. Санкт-Петербург, Россия**

Кичанская структура находится в Тикшеозерском зеленокаменном поясе в восточной части Фенноскандинавского щита. Супракуральные породы этой структуры представляют собой метаморфизованные дифференцированные вулканогенные серии [1]. С ними связана золото-сульфидная рудная минерализация. Породы исследуемого участка в южной части Кичанской структуры представлены главным образом различными по минеральному составу гнейсами, сланцами и амфиболитами. Амфиболиты и сланцы интерпретируются как метавулканиты основного и среднего состава (метабаазальты и метаандезиты), а гнейсы – как метавулканиты кислого состава (метариолиты, туфы, туффиты), а также граувакки. Присутствуют также гранитоиды и комплекс габбро-норит-лерцолитов. Для целей термобарометрии были выбраны гранат-биотит-амфиболовые сланцы (метабаазиты) и гранат-двуслюдной, кианит-гранат-биотитовый гнейсы (метапелиты). Ранее для пород Кичанской структуры РТ-параметры метаморфизма современными методами термобарометрии не определялись.

Для расчета РТ-параметров метаморфизма пород использовалась программа TWQ [2], которая кроме РТ-оценок позволяет также оценить степень равновесия используемых для термобарометрии минералов. Для расчетов были применены составы минералов – твердых растворов с термодинамическими параметрами из базы данных JUN92 для амфиболовых минеральных парагенезисов и базы DEC06 [3] – для безамфиболовых.

В гранат-биотит-амфиболовых сланцах парагенезис ранних минералов – твердых растворов представлен амфиболом, биотитом, гранатом и плагиоклазом. Биотит преимущественно антитового состава, гранат – гроссуляр-альмандинового ряда, плагиоклазы отвечают по составу андезину (An₃₂₋₄₂) и лабрадору (An₅₃₋₆₃), амфибол соответствует железистой роговой обманке. РТ-определения по разным комбинациям составов минералов в четырех образцах этого типа пород показали разброс значений в пределах 620–770 °С при 6.8–11.5 кбар (рис. 1, а–г). Наилучшее

пересечение линий минеральных реакций, отвечающее максимальному приближению к химическому равновесию, соответствует $T = 680^\circ\text{C}$ и $P = 10$ кбар.

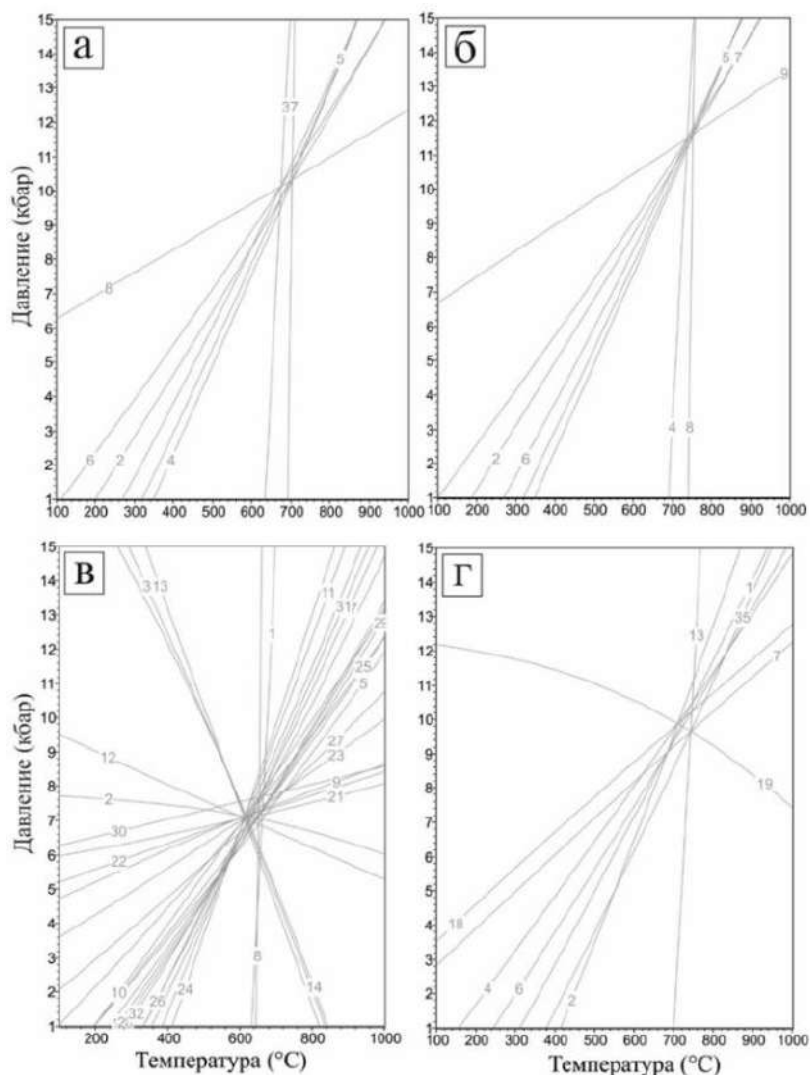


Рис. 1. *PT-диаграммы для 4 образцов гранат-биотит-амфиболовых сланцев, рассчитанные методом мультиравновесной термобарометрии с помощью программы TWQ [2]*

В гранат-двуслюдном и кианит-гранат-биотитовом гнейсах использовались твердые растворы граната, который по составу соответствует рядуgrossуляр-альмандин, биотита флогопит-аннитового ряда, плагиоклаза (An₂₈₋₃₈), белой слюды, соответствующей парагонит-мусковиту. Точка схождения линий безводных минеральных реакций выявляет значения $T = 650^\circ\text{C}$, $P = 7.8$ кбар (рис. 2, а). При добавлении реакций, содержащих воду, наилучшее пересечение линий минеральных реакций соответствует схожим значениям: $T = 640^\circ\text{C}$ и $P = 8$ кбар (рис. 2, б). Диапазон формирования минерального парагенезиса без учета титансодержащей фазы соответствует $T = 620\text{--}700^\circ\text{C}$ при $P = 6.2\text{--}7.5$ кбар (рис. 2, в). При добавлении минеральных реакций с ильменитом и рутилом, и соответствующем увеличении числа независимых реакций, наилучшее пересечение линий реакций соответствует $T = 630^\circ\text{C}$, $P = 6.5$ кбар (рис. 2, г).

Таким образом, термобарометрия с применением расчетов мультиравновесных *PT*-диаграмм выявила условия метаморфизма пород Кичанской структуры амфиболитовой фации повышенных давлений. Метабазиты сформировались при $T = 620\text{--}770^\circ\text{C}$, $P = 6.8\text{--}11.5$ кбар, а метапелиты при $T = 620\text{--}700^\circ\text{C}$, $P = 6.2\text{--}8$ кбар.

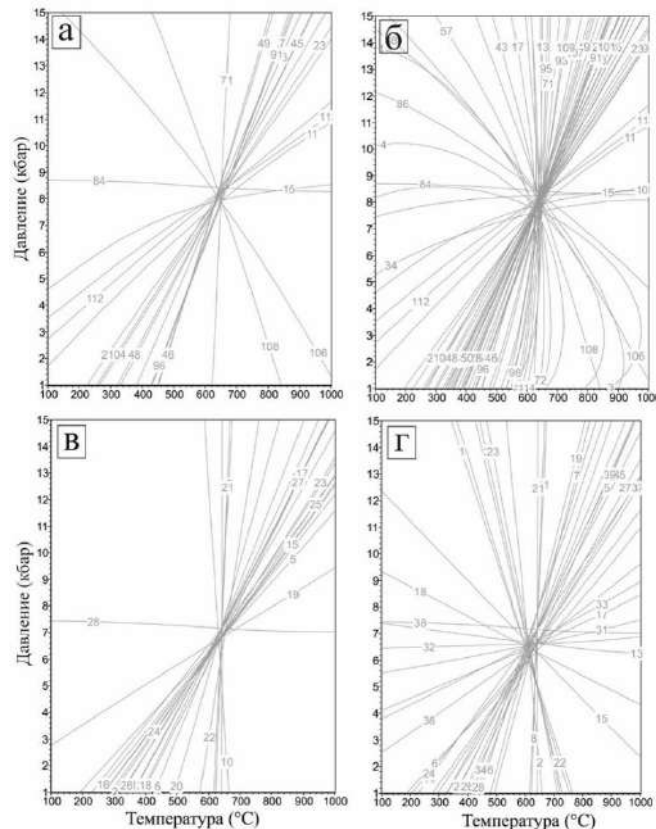


Рис. 2. PT-диаграммы для гранат-двуслюдяного и кинанит-гранат-биотитового гнейсов, рассчитанные методом мультиравновесной термобарометрии с помощью программы TWQ [2]

Литература

1. Кичанская структура Архейского Тикшеозерского зеленокаменного пояса Фенноскандинавского щита в свете новых геохимических и геохронологических данных / Т.А. Мыслова, А.С. Никонина, К.А. Никонов, И.А. Житникова, П.А. Львов // Геохимия. – 2024. – Т. 69. – № 9. – С. 81-106.
2. Berman R.G. Thermobarometry using multiequilibrium calculations: a new technique with petrologic applications / R.G. Berman // Canad. Mineral. – 1991. – Vol. 32. – P. 833-855.
3. Berman R.G. Reversed phase equilibrium constraints on the stability of Mg–Fe–Al biotite / R.G. Berman, L.Ya. Aranovich, D.G. Rancourt, D.G. Mercier // American Mineralogist. – 2007. – Vol. 92 (1). – P. 139-150.

ХЛОРИТ ИЗ ОДНОСЛЮДЯНЫХ И ДВУСЛЮДЯНЫХ СЛАНЦЕВ ИРТЫШСКОЙ ЗОНЫ СМЯТИЯ (ВОСТОЧНЫЙ КАЗАХСТАН)

Федосюк Г.А.

Научный руководитель доцент Е. В. Наставко

Кемеровский государственный университет, г. Кемерово, Россия

В данной статье представлено исследование хлорита из однослюдяных и двуслюдяных сланцев центральной части Иртышской зоны смятия (ИЗС) или Иртышской сдвиговой зоны, с целью определения температур преобразования пород. Иртышская зона смятия является выходом на поверхность кристаллического фундамента Калба-Нарымского террейна (рис. 1, а.) [3].

Для исследования было отобрано четыре образца сланцев из коренных выходов на дневную поверхность. Обнажения протяженностью 110–120 м и мощностью до 1.0–1.5 северо-западного простирания, которые обнажаются на восточной окраине поселка Предгорное (50°24'58,08" N, 82°26'05,78" E), Восточно-Казахстанской области (рис. 1, б.). В ходе изучения было установлено, что исследуемые образцы можно разделить на две группы. Однослюдяные (биотитовые) и двуслюдяные (мусковит-биотитовые) сланцы. Из-за существенной задренованности поверхности было затруднено установить переход от одних сланцев к другим.

Однослюдяные сланцы макроскопически рассланцованные темно-зеленоватые, серо-коричневые равномернозернистые породы. Микроструктура пород гомеобластовая, реже гетеробластовая, за счет того, что зерна кварца слагают крупные скопления из мелких зерен. Микроструктура – гранолепидобластовая. Основная масса породы состоит из биотита (40–50 %), кварца (35–45 %) и плагиоклаза (5 %). Аксессуары суммарно составляют до 5 %

СЕКЦИЯ 2. РУДООБРАЗУЮЩИЕ СИСТЕМЫ: ПРОБЛЕМЫ МИНЕРАЛОГИИ, ГЕОХИМИИ И ПЕТРОЛОГИИ

Двусланцевые сланцы макроскопически светлые зеленоватые серо-коричневые равномернозернистые рассланцованные породы. Микроструктура пород гомеобластовая, гранолепидобластовая. Минеральный состав пород достаточно устойчив. Породы сложены кварцем (30–40 %), биотитом (25–35 %), мусковитом (15–20 %) и плагиоклазом (5 %). Аксессуары суммарно составляют около 5 %.

Вторичные преобразование пород проявлены хлоритизацией биотита, его количество в односланцевых и двусланцевых сланцах составляет до 5 % и является результатом регрессивного метаморфизма.

Семейство хлоритов сложное и обширное, широко представлено в породах самого различного генезиса. Особенно широко они распространены в породах фации зеленых сланцев, в которых хлориты часто являются породообразующими минералами, а также могут указывать на регрессивный характер метаморфизма пород.

Для определения температур регрессивного метаморфизма был исследован химический состав хлоритов, приведенный в таблице 1.

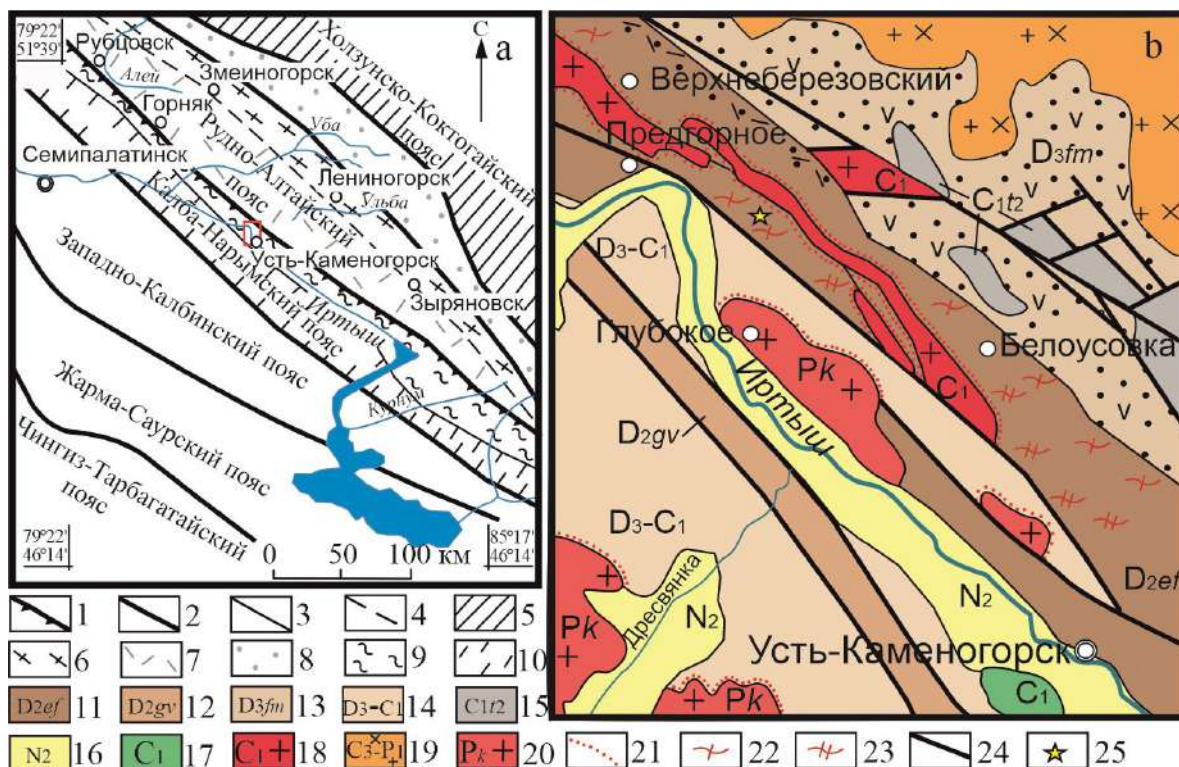


Рис. 1 а. – Схема размещения рудных поясов большого Алтая по [1]: 1 – Иртыш-Маркакольский глубинный разлом; 2-4 – границы металлогенических поясов (2), зон (3) и подзон (4); 5-12 – металлогенические зоны и подзоны: 5 – Холзунско-Шуйско-Сицихэская зона; 6-7 – Рудноалтайская зона (6 – Лениногорско-Зыряновская, 7 – Алейская), 8-10 – зоны (8 – Белоубинско-Сарымсактинская, 9 – Иртышская, 10 – Калба-Нарымская); **б** – строение района исследований [2]: 11 – иртышский метаморфический комплекс (D_2i), 12 – зеленокаменные песчаники и алевролиты кыстав-курчумской свиты (D_2ks), 13 – вулканогенные породы пестрого состава, сланцы, песчаники и известняки объединенных снегиревской, пихтовской, тарханской свит, 14 – сланцы, алевролиты, алевропесчаники такырской серии (D_3-C_1tk), 15 – известняки, известковисто-глинистые сланцы и известковистые песчаники бухтарминской свиты (C_1bh), 16 – красноцветная кора выветривания; 17-20: магматические комплексы: 17-18 прииртышская серия, 17 – габбро, 18 – граниты; 19 – субщелочные гранодиориты и граниты прииртышского комплекса (C_3-P_1r), 20 – калбинский гранитный комплекс (P_k); 21 – контактовые роговики, 22-23, породы регионального метаморфизма: 22 – породы фации зеленых сланцев, 23 – породы амфиболитовой фации, 24 – тектонические контакты, 25 – место отбора образца

Таблица

Химический состав хлорита

№ образца	G-1			G-2			G-3			G-4		
Эл-ты, %	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SiO ₂	31.35	30.83	31.50	31.11	30.79	31.52	29.92	30.65	30.33	30.37	30.26	31.19
Al ₂ O ₃	25.75	26.15	25.85	25.88	26.14	25.79	26.29	25.50	26.22	25.58	26.17	24.99
FeO	16.25	17.32	17.04	17.07	17.33	16.87	21.49	21.95	22.31	21.99	21.30	20.75
MnO	0.36	0.36	0.39	0.42	0.38	0.32	0.30	0.21	0.00	0.34	0.34	0.26
MgO	26.29	25.34	25.22	25.51	25.36	25.50	21.99	21.69	21.14	21.72	21.94	22.80
Сумма	100.00	100.00	100.00	99.99	100.00	100.00	99.99	100.00	100.00	100.00	100.01	99.99
<i>Кристаллохимические коэффициенты, рассчитанные на 10 катионов</i>												
Si	3.15	3.12	3.18	3.14	3.12	3.18	3.10	3.17	3.16	3.15	3.14	3.20
Al	1.52	1.56	1.54	1.54	1.56	1.53	1.61	1.56	1.61	1.56	1.60	1.51
Al ^{IV}	0.85	0.88	0.82	0.86	0.88	0.82	0.90	0.83	0.84	0.85	0.86	0.80
Al ^{VI}	0.67	0.68	0.72	0.68	0.67	0.71	0.71	0.73	0.77	0.71	0.73	0.71
Fe	1.36	1.47	1.44	1.44	1.47	1.42	1.86	1.90	1.94	1.91	1.85	1.78
Mn	0.03	0.03	0.03	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02	0.00	0.03	0.03	0.02
Mg	3.93	3.82	3.80	3.84	3.83	3.84	3.40	3.35	3.28	3.36	3.39	3.49
Сумма	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Mg#	0.74	0.72	0.73	0.73	0.72	0.73	0.65	0.64	0.63	0.64	0.65	0.66
<i>Температуры, рассчитанные по термобарометру Cathelineau [4] и Jowett [5]</i>												
[4]	213	221	201	214	223	202	227	204	208	213	216	196
[5]	211	220	200	213	222	201	228	206	211	215	218	197

По химическому составу хлориты из сланцев отличаются главным образом по магнезиальности. Хлориты из однослюдяных сланцев более магнезиальны (Mg# = 0.72–0.74), тогда как в двуслюдяных сланцах магнезиальность хлоритов составляет 0.63–0.66, что отвечает пикнохлориту-диабантину.

Проведенные расчеты температуры позволили установить диапазон, в котором происходила хлоритизация пород. Согласно геотермометрам Cathelineau [4] и Jowett [5] температура преобразования сланцев составила 196–228 °C, что соответствует границе пренит-пумпеллиитовой и зеленосланцевой фаций метаморфизма.

Литература

1. Беспяев Х.А. и др. Геология и металлогения Юго-Западного Алтая (в пределах территории Казахстана и Китая). – Алматы: Ғылым, 1997. – Т. 288.
2. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1: 200 000. Издание второе. Серия Горно-Алтайская. Лист М-44-III (Новоогорьевское). Объяснительная записка. – М.: Московский филиал ФГБУ ВСЕГЕИ, 2019. – 180 с.
3. Ермолов П.В. Актуальные проблемы изотопной геологии и металлогении Казахстана. – Караганда: Издательско-полиграфический центр Казахстанско-Российского университета. – 2013.
4. Cathelineau, M. Cation site occupancy in chlorites and illites as a function of temperature / M. Cathelineau // Clay Minerals. – 1988. – № 23. – P. 471-485.
5. Jowett E.C. Fitting iron and magnesium into the hydrothermal chlorite geothermometer, GAC/MAC/SEG Joint Annual Meeting / E.C Jowett // Toronto. – 1991. – P. a 62.

**ГЛАУКОНИТ: ЦЕННЫЙ МИНЕРАЛ ДЛЯ СОЗДАНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ
МАКРО- И МИКРОНУТРИЕНТНЫХ УДОБРЕНИЙ**

Хитрин И.С., Рудмин М.А.

Научный руководитель доцент М.А. Рудмин

Национальный исследовательский Томский политехнический институт г. Томск, Россия

Человечество сталкивается с серией проблем, которые вызваны демографическим ростом населения и промышленным ростом. Одна из глобальных проблем заключается в необходимости наращивания темпов и поддержания эффективности сельскохозяйственного производства для удовлетворения продовольственных потребностей, а также поддержания сохранности экологической среды, по средствам перехода на более щадящие методы, по сравнению с используемыми в агроиндустрии на данный момент [3, 4]. Хотя традиционные удобрения способны повысить урожайность, их нерегулируемое применение может наносить вред почве и окружающей среде. Частичное решение этой проблемы возможно при внедрении экологически безопасных удобрений пролонгированного или адресного действия. Такие удобрения способны обеспечить контролируемое поступление нутриентов в почву и растения [6]. Для создания удобрений контролируемого действия изучаются и тестируются слоистые и реже каркасные минералы, а также полимерные и органические вещества, в том числе глауконит и смектиты [1, 5, 6]. Как показывает практика, добавление цинка, меди и бора может быть полезно в определенных дозировках и улучшать качество и количество урожая. Например, цинк в малых количествах повышает процент всхожести, а добавки бора увеличивают биомассу культур [2].

Целью данной работы создание новых видов удобрений путём добавления микронутриентов (Zn, Cu, B) в разноразмерные поры глобулярного глауконита путём химической активации и контролем за структурно-химическими изменениями минеральных веществ с последующей их апробацией в лабораторных аграрных экспериментах.

Основой для нанокмпозитов являлся глауконит Каринского месторождения (Челябинская область). Усредненная кристаллохимическая формула глауконита имеет следующий вид: $(K)_{0.6-0.8}(Fe^{3+}_{0.9-1.7}, Al_{0.2-0.7}, Mg_{0.3-0.5})_{1.6-2.0}(Si_{3.5}Al_{0.5})O_{10}[(OH)_2 \cdot nH_2O]$. Характеристики композитов были дополнены с помощью следующих методов: термический анализ (термогравиметрический анализ и дифференциальная сканирующая калориметрия, интегрированные с квадрупольным масс-спектрометром (ТГ-ДТА-МС)), масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС), метод Брунауэра-Эммета-Теллера (БЭТ). В завершении исследования были проведены лабораторные агроиспытания с синтезированными нанокмпозитными удобрениями (Gk3Zn2-05, Gk3Zn2-10, Gk3Zn2-20, Gk3Cu2-05, Gk3Cu2-10, Gk3Cu2-20, Gk3B2-05, Gk3B2-10, Gk3B2-20).

Исходя из результатов ИСП-МС, можно сделать вывод, что минеральная структура глауконита остается стабильной. Это подтверждается отсутствием существенных отличий состава основных оксидов глауконитовых нанокмпозитов от исходного материала. Однако, ключевые микроэлементы закономерно изменяются (табл. 1). Концентрация цинка увеличивается от 0.17 % в Gk3Zn2-05 до 0.64 % в Gk3Zn2-20, что подтверждает сорбцию ионов цинка в порах глауконита. Схожая тенденция наблюдается для меди, где содержание Cu увеличивается с 256 до 893 г/т в образцах, модифицированных хелатом меди (табл. 1) по мере повышения концентрации раствора. Содержание калия остается стабильным, что указывает на участие межслоевой воды в процессах сорбции и исключает замещение калия.

Таблица 1

**Содержания основных оксидов и некоторых микроэлементов в валовом составе нанокмпозитов
по данным ИСП-МС**

Образцы	Na (%)	Mg (%)	Al (%)	K (%)	Ca (%)	Ti (%)	Mn (%)	Fe (%)	Cu (г/т)	Zn (г/т)
Gk3Zn2-20	0.07	2.7	5.0	6.9	0.028	0.10	0.014	18.2		6363
Gk3Zn2-10	0.06	2.7	4.8	6.7	0.029	0.09	0.015	17.7		3510
Gk3Zn2-05	0.06	2.5	4.5	6.5	0.027	0.11	0.014	17.0		1754
Gk3Cu2-20	0.16	2.8	5.1	7.0	0.028	0.08	0.014	18.1	893	125
Gk3Cu2-10	0.11	2.7	4.9	6.8	0.027	0.08	0.014	17.8	415	126
Gk3Cu2-05	0.09	2.7	5.0	6.9	0.028	0.09	0.014	18.2	256	142
Gk3B2-20	0.07	2.7	4.9	6.7	0.028	0.08	0.014	17.5		122
Gk3B2-10	0.07	2.7	4.9	6.8	0.028	0.07	0.014	17.8		122
Gk3B2-05	0.07	2.7	5.1	7.0	0.029	0.07	0.012	17.9		123

На термогравиметрических (ТГ) кривых (рис.) зафиксировано 5–6 интервалов потери массы. Шесть интервалов характерны только для нанокмпозитов с Zn, тогда как исходный глауконит и нанокмпозиты с Cu и B демонстрируют пять интервалов. Первый при 0–90 °С – удаление физически связанной воды (0.1–0.3 вес.%). Второй при 90–180 °С – десорбция воды (ОН⁺, Н₂О), в нанокмпозитах с Zn дополнительно высвобождается вода из макропор (0.8–1.1 вес.%). Третий при 180–320 °С – освобождение мезопоровой воды (ОН⁺, Н₂О) и разложение органических примесей (С⁺), хелатов и сульфатов (О⁺, NO⁺, CO₂⁺) (2.1–10.6 вес. %). Четвертый при 320–590 °С – удаление воды и разложение адсорбированных соединений (С⁺, NO⁺, CO₂⁺), преимущественно из межслоевого пространства (3.9–4.5 вес.%). Пятый при 590–1000 °С – дегидратация кристаллической решётки глауконита (0.6–1.1 вес.%) с высвобождением С⁺, NO⁺, CO₂⁺, в нанокмпозитах с сульфатом Zn (825–1000 °С) наблюдается дополнительная дегидратация слоистой структуры с выделением SO⁺ (0.1–0.3 вес.%).

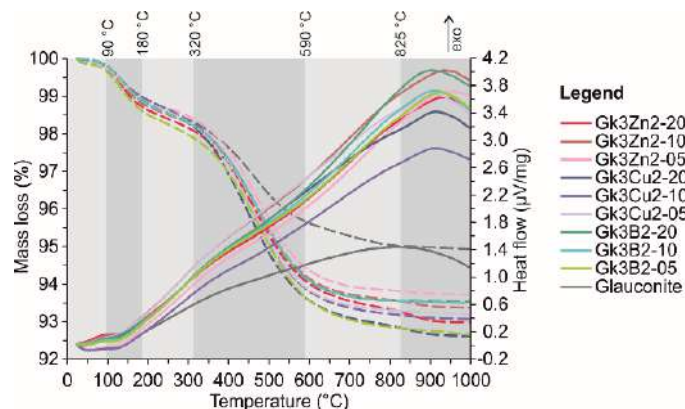


Рис. ТГ- и ДТА-кривые исходного глауконита и нанокомпозитов

Исходный глобулярный глауконит обладает удельной поверхностью 41.2 м²/г, объемом пор 0.06 см³/г и средним размером пор 5.4 нм (табл. 2). Из результатов БЭТ анализа можно сделать вывод о том, что активация глауконита с использованием растворов сульфата цинка, хелата меди и борной кислоты оказывает различное влияние на его удельную поверхность и пористость. Нанокомпозиты, обработанные растворами сульфата цинка, характеризуются отличительным увеличением удельной поверхности (от 46.9 до 50.0 м²/г) и объема пор за счет образования новой фазы (сульфаты). При активации хелатом меди удельная поверхность остаётся практически неизменной (46.0–47.7 м²/г), что указывает на стабилизацию глобулярно-слоистой структуры глауконита без существенного изменения пористости. Добавление борной кислоты приводит к уменьшению удельной поверхности (с 45.6 м²/г до 36.3 м²/г) и увеличению диаметра мезопор с 5.4 нм в исходном глауконите до 7.4 нм в Gk3B2-20, что вероятно связано с заполнением пор и изменением их морфоструктуры.

Таблица 2

Удельная поверхность, общий объем пор и средний размер пор в нанокомпозитах по данным БЭТ анализа

Нанокомпозиты	Удельная поверхность (м ² /г)	Общий объем пор (см ³ /г)	Средний размер пор (нм)
Gk3Zn2-05	46.9	0.070	6.0
Gk3Zn2-10	48.1	0.068	5.7
Gk3Zn2-20	50.0	0.077	6.1
Gk3Cu2-05	47.7	0.071	5.9
Gk3Cu2-10	46.1	0.069	6.0
Gk3Cu2-20	46.0	0.069	6.0
Gk3B2-05	45.6	0.073	6.4
Gk3B2-10	42.3	0.070	6.6
Gk3B2-20	36.3	0.067	7.4
Глауконит	41.2	0.056	5.4

Проведённое исследование подтвердило эффективность химической активации глауконита с использованием растворов Zn, Cu и B для создания многофункциональных нанокомпозитов. Модификация значительно улучшает сорбционные свойства глауконита благодаря (а) проникновению ионов в межслоевые пространства, (б) внутренней координации Zn²⁺ и Cu²⁺ и внешней координации BO₃⁻/BO₄⁻ в нанопорах (межслоевое пространство) минерала. Это позволяет регулировать параметры сорбции для контролируемого высвобождения микроэлементов. Использование нанокомпозитов с Cu и B улучшило рост растений (овёс обыкновенный, *Avena sativa*): длина всходов выросла на 7%, биомасса увеличилась на 6.4 %. Цинк-модифицированные образцы были эффективны в малых дозах, но угнетали рост при высоких концентрациях. Таким образом, результаты исследований подтверждают возможность использования нанокомпозитов с цинком, медью и бором для улучшения агрохимических показателей определённых агрокультур.

Работа выполняется при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 22-77-10002).

Литература

1. Borges R. Design and Kinetic Study of Sustainable Potential Slow-Release Fertilizer Obtained by Mechanochemical Activation of Clay Minerals and Potassium Monohydrogen Phosphate / R. Borges, V. Prevot, C. Forano, F. Wypych // Industrial & Engineering Chemistry Research. – 2017. – P. 708–716.
2. Khitrin I. Glauconite-Based Nanocomposites with Zn/Cu/B: Multifunctional Micronutrient Fertilizers / I. Khitrin, P. Maximov, E. Dasi, K. Ibraeva, K. Ponomarev, N. Maximova, P. Belousov, A. Ruban, M. Rudmin // Minerals. – 2025. – 15(1), 12.
3. Matson P.A. Agricultural Intensification and Ecosystem Properties / P.A. Matson // Science. – 1997. – 277. – P. 504–509.
4. Rudmin M. Mechanical Activation of Smectite-Based Nanocomposites for Creation of Smart Fertilizers / Rudmin M. // Applied Sciences. – 2022. – V. 12. – № 809. – P. 1–11.

1. Рудмин М.А. Монтмориллонит как перспективный композитный минерал для создания современных удобрений пролонгированного действия / М.А. Рудмин, И.В. Рева, Т.Ю. Якич, Б.Р. Соктоев, А.С. Буяков, Р.Б. Табакаев, К. Ибраева // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2021. – Т. 332. – С.14–22.
2. Хитрин И.С. Активация смектита и фосфата: опыт создания минеральных удобрений комплексного действия / И.С. Хитрин, М.А. Рудмин // Структура, Вещество, История Литосферы Тимано-Северо Уральского Сегмента: Материалы 32-й Научной Конференции. – Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2023. – С. 143–146.

ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ ЦИРКОН-ИЛЬМЕНитОВЫХ ПЕСКОВ ТУГАНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ТОМСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Ходатович И.В.

Научный руководитель профессор Е.Г. Языков

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Туганское месторождение циркон-ильменитовых песков находится на северо-востоке Томского района, на сочленении Колывань-Томской складчатой зоны и Западно-Сибирской плиты, фациально приурочено к зоне замещения прибрежно-морских отложений континентальными.

На месторождении выделяются несколько самостоятельных участков: Кусковско-Ширяевский, Южно-Александровский и ряд более мелких участков, отнесенных по своим запасам к разряду забалансовых.

В карьере Южно-Александровского участка добычные работы сопровождаются проведением эксплуатационной разведки. Технология добычи подразумевает выполнение оперативных горно-геологических работ, направленных на решение определенных задач, таких как изучение морфологии и условий залегания пластов рудных песков, разделение добычного участка на блоки с разными кондициями руд и т. д.

Для решения этих задач геологическая служба регулярно проводит бороздовое опробование с последующим анализом проб песков по ряду параметров, среди которых, в том числе, имеется минеральный состав. В испытательной лаборатории обогатительной фабрики определение минерального состава проб рудных песков проводятся по методике полуколичественного минералогического анализа. Данный вид анализа, при условии ограниченного числа проб, выполняется в кратчайшие сроки (менее суток), обеспечивает удовлетворительную точность, а также относительно недорогой и не требующий сложного оборудования.

Помимо решения задач, связанных с эксплуатационной разведкой, минералогические исследования проводятся для технологического контроля промежуточных продуктов производственного процесса, начиная от анализа минерального состава исходной руды, поступающей из карьера месторождения на обогатительную фабрику до оценки качества готовой продукции.

Материалом для исследований послужили образцы сухих, обесшламленных проб исходной руды.

Для диагностики минералов использовался оптико-минералогический метод с использованием стереоскопического микроскопа МСП-2 в комбинации с источником ультрафиолетового освещения. Диагностика минералов проводилась по их внешнему виду и физическим свойствам: форме зёрен, габитусу кристаллов, характеру кристаллических граней, осколков, излома, спайности, штриховке, прозрачности, блеску, цвету, твёрдости.

Перед проведением оптико-минералогических исследований рудные пески были разделены на тяжёлую и лёгкую фракции. Тяжёлая фракция – концентрат наиболее плотных минералов, среди которых помимо рудных, встречаются также прочие минералы, доля которых в составе тяжёлой фракции составляет в среднем 10–12 %. Минералы тяжёлой фракции выделялись в лабораторных условиях с помощью тяжёлой жидкости – трибромметана (СНВз), плотностью 2,89 г/см³, т. е. минералы тяжёлой фракции обладают удельным весом не менее 2,9 г/см³.

Основными рудными минералами Туганского месторождения являются ильменит, лейкоксен, рутил, являющиеся основными минералами-концентраторами титана, и циркон, использующийся, в том числе, как сырьё для производства металлического циркония.

Ильменит – основной титаносодержащий минерал россыпи. Чаще всего встречается в виде осколков кристаллов, неправильных уплощённых угловатых или угловато окатанных зёрен с характерной ступенчатой или ямчатой скульптурой поверхности (рис. а). Цвет железо-чёрный, в порошке буровато-чёрный, блеск полуметаллический. Излом неровный или раковистый. Характерно замещение лейкоксеном, образующим на поверхности зёрен ильменита желтоватый скрытокристаллический налёт [1].

Ильменит Туганского месторождения в значительной степени лейкоксенизирован, по этой причине окраска зёрен может сильно варьироваться – от чёрной у наименее лейкоксенизированных зёрен, до коричневой у наиболее лейкоксенизированного. Содержание ильменита, в том числе лейкоксенизированного, в исходной руде составляет около 2,22 %. Размер зёрен до 0,2 мм, удельный вес, также как и окраска зависит от степени лейкоксенизации, сохраняясь в пределах 3,8–4,0.

Лейкоксен представляет собой скрытокристаллические образования, состоящие из диоксида титан с существенной долей воды в составе, а также примесью кремнекислоты, железа и др. На рис. б показаны зёрна лейкоксена, размером до 0,2–0,3 мм, угловатые и в разной степени окатанные. Окраска лейкоксена преимущественно серовато-жёлтая, кремовая, бледно-буроватая. Блеск минерала матовый, жирный, тусклый. Излом раковистый, в изломе плотный, раздавливается с трудом. Содержание лейкоксена в исходной руде составляет около 0,62 %, удельный вес изменяется в широких пределах – 3,5–4,5 г/см³, немагнитный.

Рутил обычно встречается в угловатых и угловато-окатанных зёрнах, размером до 0,4 мм. Реже наблюдаются хорошо и совершенно окатанные зёрна с характерной ямчатой или шероховатой поверхностью. Окраска рутила

разнообразная, наиболее распространённая оранжево-красная (рис. в), также встречаются красно-бурая, коричнево-красная, буровато-жёлтая, оранжево-жёлтая, чёрная [1].

Чаще всего рутил полупрозрачен или просвечивает; тёмноокрашенные (бурые и чёрные) рутилы непрозрачны. Цвет в порошке от белого до светло-коричневого. Блеск сильный алмазный, спайность ясная, минерал хрупок, раздавливается с большим трудом. Содержание рутила в исходной руде составляет около 0,1 %. Минерал обладает удельным весом 3,8–4,2 г/см³, немагнитный [1].

Циркон является вторым по значению минералом россыпи. Минерал встречается в виде кристаллов (рис. г), их обломков, неправильных угловатых зёрен, размером до 0,5 мм. Окраска циркона преимущественно бесцветная или бледновато-жёлтая, блеск алмазный, спайность не проявлена, излом неровный. Хрупок, раздавливается с трудом. В ультрафиолетовом свете люминесцирует жёлтым и оранжево-жёлтым [1]. Содержание циркона в исходной руде составляет около 0,43 %, удельный вес составляет 7,5–7,8 г/см³, немагнитный.

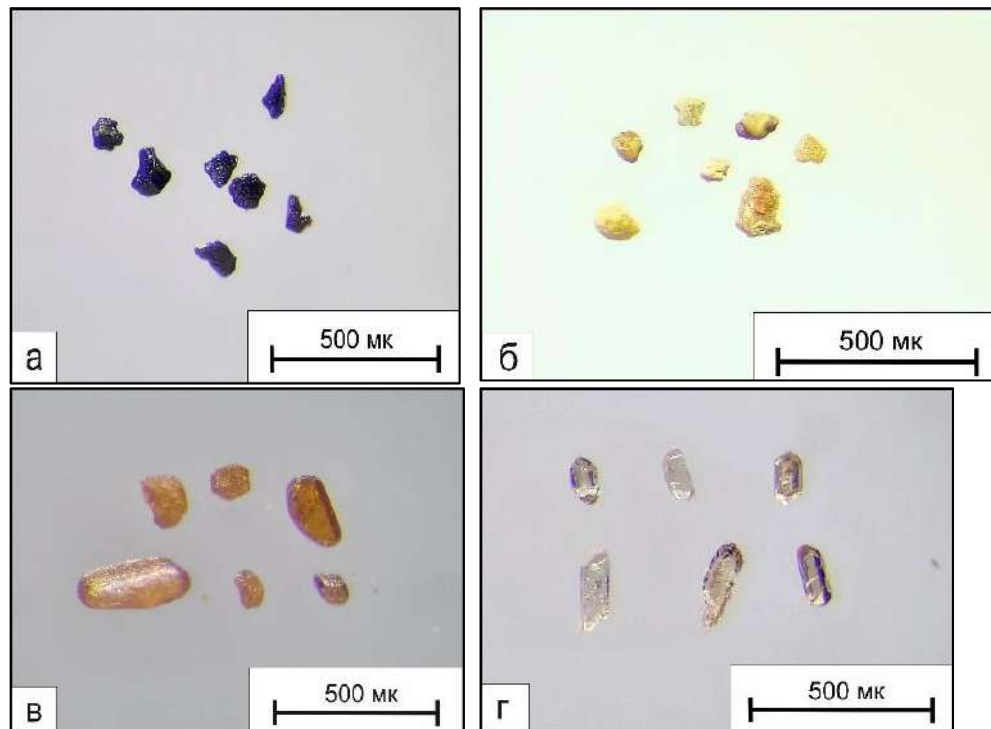


Рис. Фотографии основных рудных минералов Туганского месторождения:
а – слабо окатанные чёрные зёрна ильменита неправильной формы; б – желтоватые, форфоровидные зёрна лейкоксена; в – оранжево-красные прозрачные зёрна рутила; г – зёрна циркона с выраженными кристаллографическими очертаниями

Помимо основных рудных минералов в тяжёлой фракции песков присутствуют монацит, анатаз, брукит, которые являются ценными компонентами, так как содержат в своём составе титан (анатаз, брукит) и редкоземельные элементы и торий (монацит). Однако на сегодняшний день эти минералы не имеют промышленного значения из-за своих крайне невысоких содержаний в исходной руде.

Прочие минералы в составе россыпей представлены преимущественно турмалином (содержание в исходной руде около 0,21 %) и менее распространёнными андалузитом, сидеритом, амфиболами, эпидотом, магнетитом, сидеритом, гранатом, ксенотимом, сфеном, хромитом, касситеритом, дистеном.

Минералы лёгкой фракции представлены преимущественно кварцем, полевыми шпатами и мусковитом. Кварцевые пески имеют важное промышленное значение, так как при их переработке получается качественное сырьё для стекольной и строительной промышленности.

Литература

1. Кухаренко А.А. Минералогия россыпей / А. А. Кухаренко. – Москва: Госгеолтехиздат, 1961. – 320 с.
2. Рихванов Л.П. Циркон-ильменитовые россыпные месторождения как потенциальный источник развития Западно-Сибирского региона / Л.П. Рихванов. – Кемерово: ООО «Сарс», 2001. – 51 с.

**ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ РУД И ГЕНЕЗИС МЕДНОГО УЛАНДРЫКСКОГО
РУДОПРОЯВЛЕНИЯ (РЕСПУБЛИКА АЛТАЙ)**

Юкляевских Д.С.

Научный руководитель профессор Е.Г. Языков

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Уландрыкское рудопоявление расположено в пределах одноименного уран-спекуларит-медно-вольфрамового рудного узла, который входит в состав Монголо-Алтайской железо-вольфрам редкометалльной металлогенической области. В рудном узле проявлены различные типы оруденения меди, железа, серебра, полиметаллов, урана, вольфрама, марганца и флюорита. Рудопоявление приурочено к крупной вулканотектонической структуре (депрессии), заложеной по системе разломов на юго-восточном фланге Холзуно-Чуйского поднятия и выполненной образованиями аксайского трахинадезит-дацит-риолитового вулканического комплекса. Покровная фация комплекса представлена вулканитами аксайской свиты: дацитами, риолитами, трахириолитами, трахидацитами, их туфами и туффитами. В осевой части вулканотектонической структуры выходят на поверхность субвулканические тела комплекса, представленные высококалийными умереннощелочными лейкогранитами, гранофирами, кварцевыми порфирами и сопровождающими их эксплозивными трубками взрыва. По периферии Аксайского вулканотектонической структуры (ВТС) встречаются малые тела гипабиссальных лейкогранит-порфиров, дайки трахириолит-порфиров, трахидацит-порфиров. Уландрыкский узел имеет достаточно четкую тектоническую приуроченность к северной части Аксайской вулканотектонической структуры (ВТС), которая имеет северо-западное простирание. Эта структура определяется как палеодепрессия кальдерного типа.

На территории РФ расположено около 30 % её площади, остальная часть находится на территории Северо-Западной Монголии. В пределах Уландрыкского рудопоявления и в его непосредственном окружении развиты стратифицированные и интрузивные образования, охватывающие широкий возрастной диапазон от кембрия до девона и участками перекрытые рыхлыми покровными отложениями неоген-четвертичного возраста. Вещественный состав руд Уландрыкского рудопоявления является сложным и разнообразным. Выработками предшествующих работ вскрыты преимущественно окисленные руды. Первичные медные руды и стадийность их формирования изучены очень слабо. В рудах предшествующими работами установлено свыше 50 рудных и нерудных минералов. Из рудных первичных минералов преобладает гематит, в меньшей мере пирит, халькопирит. В зоне окисления широко развиты вторичные минералы – гематит, лимонит, малахит, пиролюзит, хризоколл, корнваллит и другие.

Главными нерудными минералами являются – кварц, серицит, калиевые полевые шпаты, кальцит, доломит. Большая часть из всех выявленных минералов относится к числу редких и второстепенных. В аншлифах образцов, взятых из отвалов канав, установлены следующие рудные минералы: гематит, пирит, халькопирит, халькозин, ковеллин, гетит, гидрогетит, малахит, азурит, золото, рутил, лимонит.

Предварительно определен порядок минералообразования в рудах. Выделены следующие этапы минералообразования: магматогенный, метасоматический, гидротермально-метасоматический жильный, сопровождаемый тектоническими подвижками, метаморфогенный, к которому относятся начальные стадии перекристаллизации рудной минерализации, динамометаморфогенный, и этап вторичного преобразования руд в зоне гипергенеза. Магматогенный этап (безрудный). Дорудный этап представлен магматогенными выделениями рудного вещества. На этапе становления вулканогенного комплекса, а также при внедрении субвулканических тел, характерно насыщение вмещающих пород кислого и среднего состава тонкой вкрапленностью магнетита обычно октаэдрического габитуса и в виде очень мелких сростков. Магнетит, титаномагнетит встречены в риолитах, дацитах эффузивной фации. Минералы титана замещаются лейкоксомом, затем рутилом с образованием структур распада твердого раствора для титаномагнетита. Этап метасоматического преобразования вмещающих пород (процесс выщелачивания и выноса).

Дальнейшее формирование и преобразование руд происходило при пропитывании вмещающих толщ гидротермальными растворами по зонам трещиноватости, с отложением рудных минералов путем кристаллизации из растворов и метасоматическим путем. На этом этапе выделена пиритовая стадия образования руд. Пиритовая минерализация накапливалась уже в процессе опережающей волны кислотного выщелачивания. Метасоматоз проявлялся на месторождении длительный период времени в виде рассеянной пиритовой минерализации. Зональность заключается в увеличении интенсивности пиритизации от внешней зоны к внутренней зоне метасоматической колонны. Гидротермально-метасоматический этап рудообразования является наиболее продуктивным, с ним связано золото-сульфидное (золото-пирит-халькопиритовое) оруденение в трещинах, открытых полостях и в послонных толщах. Под микроскопом наблюдается плотное срастание гип- и идиоморфных зерен пирита и аллотриоморфных выделений халькопирита. Пирит-халькопиритовые агрегаты нередко подроблены, катаклазированы. К гидротермально-метасоматическому типу рудообразования относится также прожилковое оруденение. Отложение пирит-халькопиритовой ассоциации в кварцевых и кварц-карбонатных жилах сопровождается проявлением интенсивного окварцевания вмещающих толщ и серицитизацией, участками гематитизацией. Золотосодержащая медно-колчеданная руда на данном этапе изучения представлена окисленными медно-колчеданными рудами и имеет в своем составе такие минералы, как пирит, халькопирит, гематит, гетит, халькозин, малахит и некоторые другие. Метаморфогенный этап связан с многократными тектоническими подвижками, дроблением, катаклизмом, вплоть до милонитизации рудных тел в зонах дробления. Здесь же образуются рудные брекчии. Метаморфические преобразования выражены в перекристаллизации и переотложении рудных минералов в твердом состоянии. Процессы динамометаморфизма выражены в разлинзовании минеральных агрегатов, в брекчировании и катаклазе отдельных зерен и скоплений рудных минералов. Относительно крупнозернистые рудные минералы нередко брекчированы, катаклазированы, сопровождаются и цементируются гематитом (спекуларитом). При динамометаморфизме минералы

испытывают сдавливание, растяжение. При этом образуются структуры смятия, развальцевания. Рудные брекчии принадлежат к пострудному этапу рудообразования, обусловлены результатом деятельности многократных подвижек, сдавливания, повторной ломки отложенных ранее руд. Руды испытывали воздействие динамометаморфизма, выраженного в брекчировании, катаклазе и милонитизации. Золотое оруденение формировалось, видимо, на протяжении всех этапов формирования руд. Отложение золота происходило в минерализованных зонах и рудных залежах в гидротермально-метасоматический этап отложения, а также в метасоматическую и жильную гидротермально-метасоматическую стадии рудообразования. Преобразование руд происходило в стадию вторичных изменений, в этап гипергенеза в зоне окисления руд. Здесь характерны пористые, кавернозные, ячеистые текстуры и структуры замещения и коррозии. Минеральный состав довольно разнообразен: кварц, гидросерцит, гетит, гидрогетит, гематит, азурит, малахит, кальцит, анкерит, доломит, золото.

Анализ особенностей состава и условий локализации проявленного оруденения на Уландрыкском рудопроявлении близки к железо-окисно-медно-золоторудному промышленному типу (IOCG Cu-Au-U), характерным представителем которого является комплексное месторождение Олимпик Дэм в Южной Австралии. Месторождение Олимпик Дэм является уникальным по запасам меди, урана, золота и серебра. Железо-медное оруденение месторождения Олимпик Дэм наложено на брекчии тектонического и эруптивного происхождения в интрузивном массиве раннерифейских щелочных гранитоидов, внедрившихся в раннепротерозойские породы фундамента в зоне разломов, ограничивающих грабен. Рудоносные брекчии интенсивно гематитизированы, серцитизированы и окварцованы. В рудах установлены флюорит, барит, магнетит, сидерит, пирит и минералы редких земель, в том числе иттрия (бастнезит, флоренсит, монацит, ксенотим, бритоцит). На Уландрыкском рудопроявлении, по данным геологических исследований, вмещающими железо-медное оруденение являются брекчии высококаллевых гранофилов и микрогранитов субвулканической фации Уландрыкского гранитоидного массива девонского возраста. Массив гранитоидов имеет размеры размером 1*6 км, вытянут в северо-западном направлении, и залегает в центральной части сложно построенной вулкано-тектонической Уландрыкской депрессии (BTC), выполненной покровными образованиями аксайской свиты раннедевонского возраста. Покровные вулканиды аксайской свиты вблизи массива претерпели гидротермально-метасоматические изменения (гематитизация, окварцевание, серцитизация, карбонатизация, пиритизация) разной интенсивности. Наиболее богатая прожилково-вкрапленная железомедная минерализация приурочена к участкам развития эруптивно-эксплозивных брекчий в зонах тектонического брекчирования и гидротермально-метасоматического изменения, приуроченных к эндо-экзоконтактам субвулканических тел гранофилов.

Литература

1. Галанский В.М. Оценка перспектив рудоносности Кумирской, Юстыдской площадей Горного Алтая и результаты аэрогеофизических работ на Томской площади. (Отчет Центральной экспедиции № 56 о результатах аэрогаммаспектрометрической съемки м-ба 1:200000-1:25000). – ОАО Березовгеология, 1992. – 146 с.
2. Кочетков И.А. Оценка перспектив территории Горного Алтая на железные руды. (Отчет Катунской партии за 1974–1977 гг.). – ЗСГУ: Горно-Алтайский филиал ФБУ ТФГИ по СФО № 1809, 1977. – 799 с.
3. Крупчатников, В.И. Отчет Бугузунской партии о результатах геологической съемки (листы М-45-82 В, Г; М-45-83-В; М-45-94-А,Б,В,Г; М-45-95-А) и геологического доизучения (листы М-45-83-Г; -84-В; -95-Б) м-ба 1:50000, проведенных в 1978–1993 гг. в ЮВ части Горного Алтая. – Запсибгеология: Горно-Алтайский филиал ФБУ ТФГИ по СФО № 372, 1993. – 1169 с.
4. Курашова В.В. Отчет опережающих геофизических работ на Сайлюгемском участке с целью подготовки основы для геологической съемки крупного масштаба и оценки перспектив района на железо, цветные и редкие металлы. (Отчет Бугузунской партии за 1978-79 гг.). – ОАО Запсибгеология: Горно-Алтайский филиал ФБУ ТФГИ по СФО №339, 1980. – 128 с.
5. Логинов В.Т. Результаты опережающих поисковых геофизических работ на участках Южный-I и Южный-II с целью оценки их перспектив на медно-полиметаллическое и медно-редкометальное оруденение (Отчет Бугузунской и Юстыдской партий за 1980-82 гг.). – ОАО Запсибгеология: Горно-Алтайский филиал ФБУ ТФГИ по СФО № 1859, 1982. – 204 с.

**МИНЕРАЛЫ-СПУТНИКИ ЭЛЕКТРУМА В ЭПИТЕРМАЛЬНОМ АU-AG МЕСТОРОЖДЕНИИ
ЛЕВОБЕРЕЖНОЕ (ХАБАРОВСКИЙ КРАЙ):
УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ И СВЯЗЬ С РУДОГЕНЕЗОМ**

Ярославцев Д.А.¹, Левочская Д.В.², Якич Т.Ю.¹

Научный руководитель доцент Т.Ю. Якич

¹*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

²*Хабаровский филиал АО «Полиметалл УК», г. Хабаровск, Россия*

В геолого-структурном отношении территория м. Левобережное находится в пределах Ульинской вулканической зоны Охотско-Чукотского вулканоплутонического пояса и локализовано в покровных образованиях амгинской и ульинской свит мелового возраста [1]. Рудные тела сложены метасоматически и прожилково-окварцованными туфами риолитов и дацитов, метасоматически и прожилково-окварцованными субвулканическими риолитами, брекчиями с кварцевым цементом.

В рамках проведения разведочных работ, выполняемых ООО «Светлое» (АО «Полиметалл УК»), были отобраны 38 аншлифов из нескольких скважин для проведения минераграфических исследований. В Томском Национальном исследовательском политехническом университете (г. Томск) породы проанализированы при помощи сканирующего электронного микроскопа TESCAN VEGA 3 SBU с энергодисперсионным анализатором (ЭДС) OXFORD X-Max 50 с Si/Li кристаллическим детектором, при ускоряющем напряжении 20 кВ и токе зонда 4–11.5 нА с предварительной калибровкой интенсивности зонда (11.4–11.5 нА) по кобальтовому стандарту, фокусное расстояние 15 мм. Также исследование образцов, с целью изучения распределения рудной минерализации в образцах проводилось на рентгеновском микротомографе uCTom 130.005. Томограф и программное обеспечение разработаны в Томском политехническом университете (ТПУ): <https://rsp.tpu.ru/tech/>.

Объектом настоящего исследования является минералы-спутники, сопровождающие золотое оруденение в пределах м. Левобережное, по интерпретации совместных парагенезисов и особенностям химического состава которых, можно сделать выводы об условиях формирования месторождения. Золотое оруденение м. Левобережное представлено преимущественно *электрумом* со средней пробой золота ~ 583 ‰ (n=9). Рудная минерализация, как и в большинстве эпитеpmальных месторождений региона, представлена вкрапленностью микроскопических размеров, где наибольшей распространенностью пользуется пирит [5]. Минералами-спутниками золота являются As-пирит и As-марказит, Sb-арсенопирит, галенит, Cu-сфалерит, Se-аргентит, в более редких случаях Ag-тетраэдрит. Из жильных минералов, пронизывающих кислые эффузивы и туфы, слагающих рудоносные прожилки, наиболее распространенными являются кварц и иллит (рис.), в качестве второстепенных встречаются Sb-фторapatит и рутил (рис. а, в, и, л-м, п); из акцессорных – монацит. В приповерхностных горизонтах в зоне окисления формируются скородит и симплезит, в которых отмечаются примеси Р и S, явапатит и гипс.

При исследовании руд установлено несколько полиморфных модификаций сульфида железа в виде *марказита* и *пирита*. Обе полиморфные модификации обогащены мышьяком (в среднем ~ 2.5. вес. %) (мах до 10 вес. %, n = 42). При этом электрум фиксируется в образцах, где встречаются обе модификации одновременно, что возможно связано с изменением геохимических условий формирования месторождения на фоне смены слабокислых условий на более нейтральные и восстановительные при увеличении роли серы. Изометричный пирит, в центральной части которого устанавливается электрум характеризуется средним размером кристаллов ~ 10–100 мкм (рис. а-б, д-з, к, н-р). Марказит представлен удлиненными (волосовидными) кристаллами до 2 см (рис. в-г, д-е, з, л, п).

Пирит перманентно содержит сингенетичные микронные включения *галенита*, *сфалерита*, *аргентита* и *арсенопирита*. *Арсенопирит* зачастую обрастает пирит и находится в зонах пересыщения мышьяком. *Арсенопирит* характеризуется высокосернистым составом и наличием примеси Sb (в среднем ~ 0.8. вес%) до (мах до 1.8 вес. %, n = 24). *Сфалерит* характеризуется наличием примеси Cu (в среднем ~ 1.19 вес. %) до (мах до 3.94 вес. %, n = 10). Среднее содержание Fe в сфалерите варьирует ~ 0.34–4.96 вес. % (в среднем ~ 2.99 вес. %). *Галенит* местами содержит примесь Se аналогично аргентиту, который совместно с галенитом в виде микронных включений встречается в As-пирите (рис. Б, Р).

При изучении образцов на рентгеновском томографе в объеме аншлифов отбиваются кварц-глинистые прожилки, с которыми связано Au-Ag оруденение. По существующим парагенезисам и присутствию одновременно пирит-арсенопиритовых совместных парагенезисов, растворы, формирующие прожилки должны иметь близонейтральный – щелочной состав [2]. Высокосернистый арсенопирит и маложелезистый сфалерит указывают на значительную активность серы в гидротермальном растворе, фугитивность которой варьирует в диапазоне $\log a_{S_2} = -9.5...-16.5$ [3] при температурах (<300-200°C). Помимо активности серы значимую роль при формировании месторождения Левобережное играли мышьяк и сурьма.

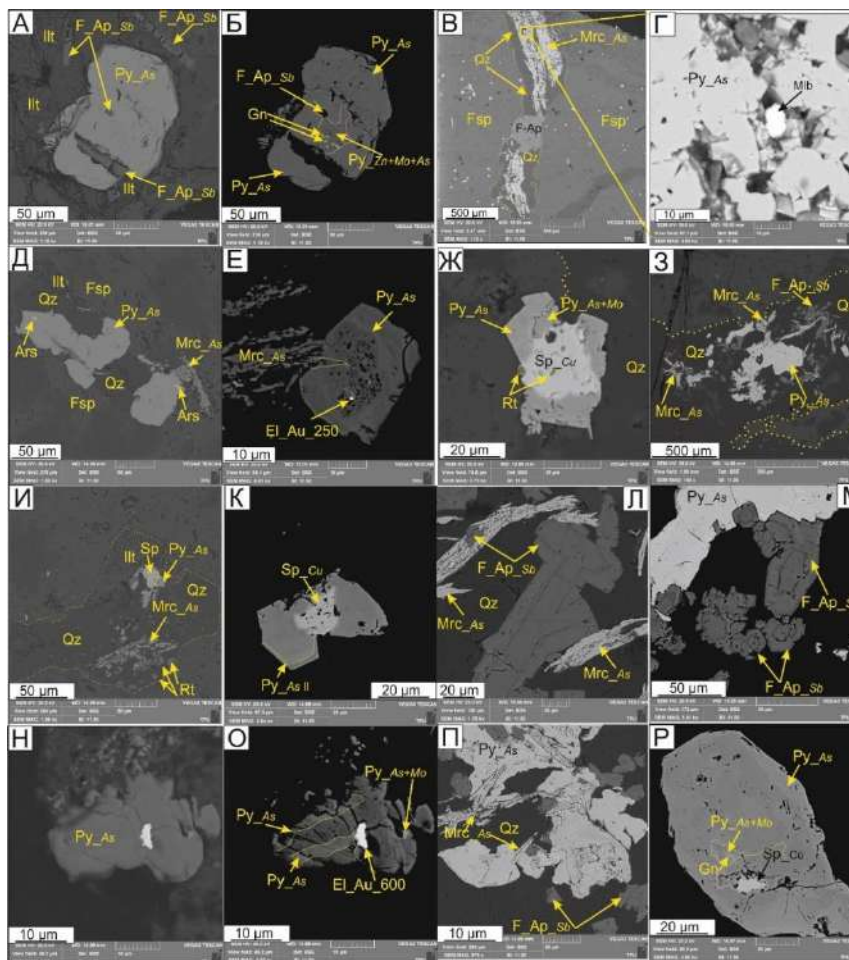


Рис. Микрофотографии (изображения SEM-BSE), демонстрирующие ассоциацию рудных и жильных минералов, сопровождающих электрум. Зерна As-пирита субизометричного облика (Py_As) в сростании с кристаллами F-апатита с примесью Sb (F_Ap_Sb) (A-B, 3, Л-M); прожилков, сложенный кварцем (Qz) и F-апатитом с марказитом удлиненного «сноповидного» облика агрегатов (Mrc_As) в микроклиновой (Fsp) матрице (B) и увеличенный фрагмент участка сноповидного марказита (Mrc_As) с вкрапленностью молибденита (Mlb) (Г); ассоциация пирита и марказита, указывающая на последовательность формирования (Д); включение низкопробного электрума (El_Au_250) в пирите субизометричного облика (Py_As), захватившего марказит (Mrc_As) (Е); совместный парагенезис сфалерита с примесью меди (Sp_Cu) с рутилом (Rt), обрастающий пиритом с различными примесями в ближнем к сфалериту окружении – мышьяком и молибденом (Py_As+Mo) и мышьяком по периферии (Py_As) (И,К); включение электрума (El_Au_600) в As-пирите (Py_As) (H-O); вкрапленность галенита (Gn) и сфалерита с примесью Cu (Sp_Cu) в пирите, центральная часть которого обогащена мышьяком и молибденом (Py_As+Mo) с переходом во внешнюю зону, обогащенную мышьяком (Py_As)

Исследования частично выполнены в рамках Государственного задания Наука № FSWW-2023-0010, тема «Комплексные исследования на базе природных геологических лабораторий».

Литература

1. Акинин В.В., Миллер Э.Л. Эволюция известково-щелочных магм Охотско-Чукотского вулканогенного пояса // Петрология. – 2011.
2. Вилор Н.В., Казьмин Л.А., Павлова Л.А. Физико-химические условия формирования арсениопирит-пиритовой ассоциации золоторудных месторождений // Науки о Земле и недропользование. – 2010. – Т. 37. – № 2. – С. 7-20.
3. Kretschmar U., Scott S.D. Phase relations involving arsenopyrite in the system FeAs-S and their application // Canadian Mineralogist. – 1976. – vol.14. – P.364-386.
4. Scott S. D. Chemical behaviour of sphalerite and arsenopyrite in hydrothermal and metamorphic environments // Mineralogical magazine. – 1983. – Т. 47. – № 345. – С. 427-435.
5. Yakich T.Y. et al. Mineralogy of the Svetloye epithermal district, Okhotsk-Chukotka volcanic belt, and its insights for exploration // Ore Geology Reviews. – 2021. – Т. 136. – С. 104257.

СТРУКТУРНО-ВЕЩЕСТВЕННЫЕ И ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ЛОКАЛИЗАЦИИ
ЗОЛОТОГО ОРУДЕНЕНИЯ ТАБОРНИНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ
(РЕСПУБЛИКА САХА (ЯКУТИЯ))

Ярчук А. В.^{1,2}, Николаева А. Н.¹

Научный руководитель доцент Ю.С. Ананьев

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

²ООО «Нерюнгри-Металлик», г. Нерюнгри (Хани), Россия

В юго-западной части Якутии отмечается ряд золоторудных месторождений, сформированных в линейной коре выветривания в период тектоно-магматической активизации с внедрением интрузий калиевых сиенитов. Самые большеобъемные из них Гросс, Таборное и Темное. Все они относятся к «Угуйскому» типу месторождений [1–3, 5]. Несмотря на то, что добыча золота на этих объектах ведется свыше 10 лет, разработка универсальных структурных и геофизических критериев золотоносности, определяющих стратегию и последовательность постановки геологоразведочных работ в Таборнинском рудном поле, является до сих пор весьма актуальной темой.

На основании вышесказанного цель работы заключалась в разработке структурно-вещественных и геофизических критериев золоторудного оруденения Угуйского типа ранга *рудное поле* и *месторождение*. В основу исследований положены материалы космических съемок Landsat, Aster и цифровая модель рельефа SRTM.

В географическом положении Таборнинское рудное поле расположено в Олекминском районе Республики Саха (Якутия) в восточной части Олекмо-Чарского нагорья и субширотной Южно-Угуйской золотоносной зоне, проходящей вдоль южного борта Угуйского грабена [4]. Самыми крупными разрабатываемыми месторождениями в районе являются Гросс и Таборное, характеризующиеся невысоким содержанием полезного компонента в руде. В результате дешифрирования современных спектральнональных снимков Landsat, Sentinel и Aster была составлена структурно-вещественная схема Таборнинского рудного поля (рис. 1).

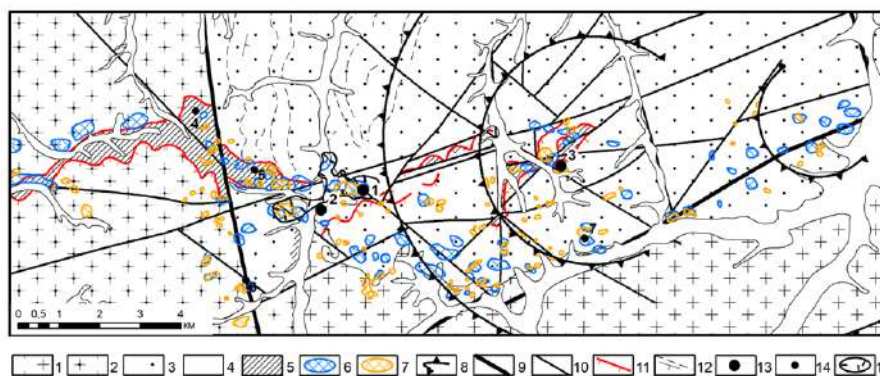


Рис. 1. Структурно-вещественная схема Таборнинского рудного поля по результатам дешифрирования космических снимков. Условные обозначения: 1 – граниты и гранитогнейсы Ханинского комплекса; 2 – субщелочные граниты Чародоканского комплекса; 3 – песчаники оллонокской свиты; 4 – аллювиальные, пролювиальные и флювиогляциальные отложения; 5 – коры выветривания; 6 – участки окварцевания; 7 – участки интенсивной лимонитизации; 8 – кольцевые структуры; 9 – 10 – разрывные нарушения; 9 – главные; 10 – прочие; 11 – взбросы и надвиги; 12 – элементы линейности в стратифицированных породах и направления их падения; 13–14 – месторождения и рудопроявления Таборнинского рудного поля: 13 – месторождения (1 – Таборное, 2 – Темное, 3 – Гросс); 14 – рудопроявления (4 – Токкинское, 5 – Рудное, 6 – Высокое, 7 – Южное); 15 – карьер месторождений Таборное и Темное

Месторождения в пределах данного рудного поля размещаются вполне закономерно относительно выделенных кольцевых структур: месторождение Гросс сформировано в центральной части телескопированной кольцевой структуры, а месторождения Таборное и Темное – во фронтальной. Сопоставление аномальных значений минеральных индексов с положением литохимических аномалий золота по первичным ореолам рассеяния показало их высокую сходимость, что позволяет использовать эти показатели в качестве критериев выделения потенциально рудоносных площадей ранга *рудное поле*.

Обработка и интерпретация аэрогеофизических полей позволили выявить ряд закономерностей проявления элементов геологического строения и потенциальной рудоносности. Таборнинское рудное поле характеризуется низким и спокойным магнитным полем с весьма низкой дисперсией (рис. 2, а). Его линейные отрицательные аномалии подчеркивают зоны разрывных нарушений разного порядка, а положительные (северо-восточного простирания) фиксируют дайки метадолеритов Торского комплекса за пределами рудного поля. Так, повышенными значениями поля К закономерно выделяются коры выветривания (рис. 2, б). На рисунке 2, в отмечаются площади месторождений и рудопроявлений рудного поля за счет слабо повышенных значений линейного поля Th. Дополнительно, предлагается использовать отношение нормированных концентраций KTh/UU (рис. 2, г). Повышенный К свидетельствует о двух процессах: указывает на развитие кор выветривания и фиксирует площади протекания метасоматических процессов.

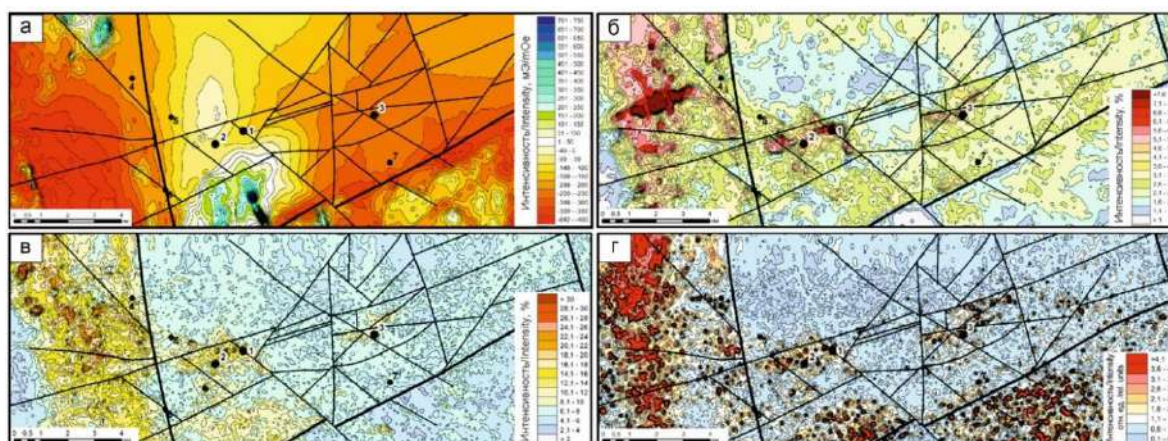


Рис. 2. Таборнинское рудное поле в физических полях: а – магнитное поле; б – поле К; в– поле Th; з – KTh/UU отношение

Таким образом, проведенные исследования показали, что рудное поле, месторождения и рудопроявления золота Угуйского типа находят свое отражение в материалах структурно-вещественного дешифрирования спектрональных снимков и в наблюдаемых физических полях. Это позволяет сформулировать структурные, вещественные и геофизические критерии золотого оруденения ранга *рудное поле* (локальные) и *месторождение* (детальные) (табл. 1).

Таблица 1

Локальные и детальные критерии золотого оруденения Угуйского типа

	Локальные критерии (рудное поле)	Детальные критерии (месторождение)
Геофизический критерий	Потенциально рудоносные площади отличаются слабым, спокойным магнитным полем с низкой дисперсией. В полях естественных радиоактивных элементов выявлены линейные аномалии К и Th вдоль разрывных нарушений надвигового структурного парагенезиса	Градиентные значения отношения Th/U в пределах калиевых аномалий, указывающие на участки протекания метасоматических процессов
Структурный критерий	Рудные поля размещаются в пределах проявления надвигового структурного парагенезиса в области влияния телескопированных кольцевых структур, которые интерпретируются как слепые интрузивные тела	Участки сопряжения отдельных разрывов надвигового структурного парагенезиса
Вещественный критерий	Вещественным критерием протекания рудно-метасоматических процессов могут служить значения минеральных индексов – мафического и трехвалентного железа (Fe ³⁺).	

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № FSWW-2023-0010).

Литература

1. Двуреченская С.С. Минералого-геохимические особенности пород и руд месторождения Таборное, западная часть Алданского щита / С.С. Двуреченская, С.Г. Кряжев // Руды и металлы. – 2005. – № 2. – С. 28-36.
2. Золоторудные районы и узлы Алдано-Становой металлогенической провинции / А.В. Молчанов, А.В. Терехов, В.В. Шатов, О.В. Петров, К.А. Кукушкин, Д.С. Козлов, Н.В. Шатова // Металлогения. – 2017. – № 71. – С. 93-111.
3. Железняк, М.Н. Мерзлотные и эколого-технологические условия золоторудного месторождения «Таборное» (Южная Якутия) / М.Н. Железняк, М.М. Шац // Недрапользование XXI век. – 2020. – № 6(89). – С. 142-153.
4. Металлогения золота Алданской провинции / Н.В. Попов, М.Н. Шапорина, В.А. Амузинский, А.П. Смелов, А.Н. Зедгенизов // Геология и геофизика. – 1999. – Т. 40. – № 5. – С. 716-728.

С Е К Ц И Я 3

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ СИСТЕМ

ИЗУЧЕНИЕ ТЕПЛОВОГО ПОЛЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ В ОКРЕСТНОСТЯХ Г. ТОМСКА ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ LANDSAT 8–9

Аникина О.А., Минаков М.С.

Научные руководители ассистент М.Ф. Крутенко, ассистент Д.С. Крутенко
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Городской остров тепла – это область повышенной температуры воздуха, имеющая вид купола, на территории городов по сравнению с прилегающими сельскими районами [4]. На сегодняшний день их изучение является важным этапом при планировании строительства, при проведении экологических мероприятий, а также при анализе качества уровня жизни и здоровья населения [3]. Замещение естественной подстилающей поверхности искусственными покрытиями и уменьшение площади, занимаемой растительным покровом, увеличивает «нагревающее» воздействие на окружающую среду. Картирование городских островов тепла позволит оценить роль влияния теплового загрязнения на окружающую среду и здоровье горожан.

В последние годы широкое применение получил метод дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), который помогает решать большой спектр задач, связанных в том числе с изучением и картированием теплового поля земной поверхности. Данный метод подразумевает определение местоположения, вида, свойств и временной изменчивости объектов окружающей среды без непосредственного контакта с ними измерительного прибора [5]. Основным источником информации являются спутниковые снимки Земли.

Целью настоящего исследования является картирование и изучение структуры теплового поля земной поверхности в окрестностях города Томска. В рамках данной работы были использованы снимки Landsat 8–9, так как они обладают высоким пространственным разрешением (до 30 м), что обеспечивает высокий уровень детальности исследования.

Для расчета поверхностных температур по спутниковым снимкам был применён метод, основанный на теории переноса излучения (Radiative Transfer Equation-Based Method), который позволяет получать результаты с минимальной погрешностью [2]. Расчёты осуществлялись в ПО «QGIS». Вычисление поверхностных температур T_s производилось по формуле:

$$T_s = \frac{C_1}{\lambda_i \ln \left(\frac{C_2}{\lambda_i^5 \frac{(B_i(T_i) - I \uparrow_i - \tau_i(1 - \epsilon_i)I \downarrow_i)}{\tau_i \epsilon_i}} + 1 \right)} - 273.15,$$

где, $C_1 = 14387,7$ мкм·К; $C_2 = 1,19104 \cdot 10^8$ Вт·мкм⁴·м⁻²·стер⁻¹; λ_i – эффективная длина волны для канала i ; $B_i(T_i)$ – откалиброванное излучение, зарегистрированное каналом i – яркостная температура; $I \uparrow_i$ – восходящий поток излучения; $I \downarrow_i$ – нисходящий поток излучения; ϵ_i – излучательная способность поверхности для канала i ; τ_i – коэффициент прозрачности атмосферы для канала i .

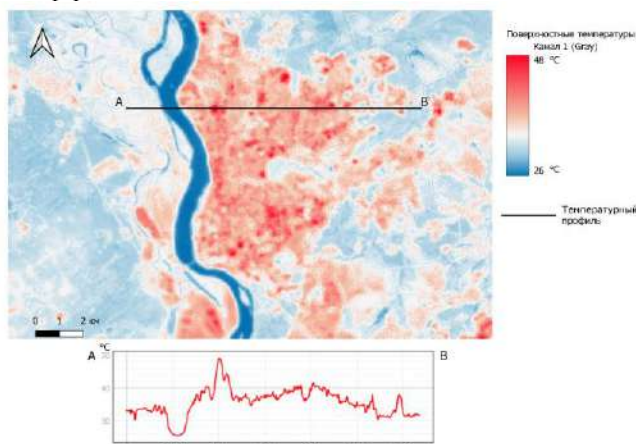


Рис. Карта поверхностных температур в окрестностях города Томска
и температурный профиль по линии АВ

Карта поверхностных температур построена на основании спутниковых снимков Landsat 8–9, полученных 27.06.2024 (рис.). Температура воздуха в г. Томске в этот день составляла + 31 °С. Проанализировав построенную карту, можно сделать вывод, что самые низкие температуры наблюдаются на поверхности р. Томи, а также в местах, где расположены густые лесные массивы. Аномально высокие значения температур, порядка + 48 °С, характерны для участков, где расположены крупные торговые центры, заводские помещения, а также густонаселённые районы. Построенный температурный профиль показывает, что средняя температура за городом (около + 32 °С), меньше температуры в городе, которая составляет порядка + 38 °С примерно на 6 °С. Такой результат хорошо согласуется с исследованиями, проведенными для других городов мира [1].

Полученная карта поверхностных температур, построенная для г. Томска и его окрестностей, позволяет достоверно оценить распределение температурных аномалий, а также выявить ряд факторов, влияющих на их образование. Таким образом, было выяснено, что, действительно, различные промышленные сооружения, городская инфраструктура, тип застройки, большое количество асфальтированных дорог и отсутствие зон озеленения способствуют возникновению городских островов тепла, которые, в свою очередь, неблагоприятно влияют на жизнь и здоровье населения.

Исследование выполнено в рамках Государственного Задания РФ «Наука». Проект FSWW-2023-0008.

Литература

1. Peng S. et al. Surface urban heat island across 419 global big cities // Environmental science & technology. – 2012. – Т. 46. – № 2. – С. 696-703.
2. Yu X., Guo X., Wu Z. Land surface temperature retrieval from Landsat 8 TIRS—Comparison between radiative transfer equation-based method, split window algorithm and single channel method // Remote sensing. – 2014. – Т. 6. – № 10. – С. 9829-9852.
3. Балдина Е. А. и др. Исследование городских островов тепла с помощью данных дистанционного зондирования в инфракрасном тепловом диапазоне // Земля из космоса: наиболее эффективные решения. – 2015. – № 5. – С. 38-42.
4. Гиясов А.И. Значение городского острова тепла в регулировании микро-и эоклимата // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2023. – Т. 23. – № 1. – С. 5-15.
5. Токарева О.С. Обработка и интерпретация данных дистанционного зондирования Земли: учебное пособие. Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во ТПУ. – 2010.

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ЕНИСЕЙСКОГО КРЯЖА И ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ ФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ВЕРХНЕ-ЕНАШИМИНСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО УЗЛА

Вопилов И.Н.

Научный руководитель доцент Ю.В. Колмаков

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Енисейский кряж является одним из основных источников коренных и россыпных месторождений золота на территории России. История его изучения охватывает не один век, благодаря чему был накоплен большой пласт информации на основе проведения региональных и детальных площадных геологических, геофизических и геохимических работ. Несмотря на это, образование и развитие Енисейского кряжа вызывает ряд вопросов и по сей день, так как его эволюция затрагивает промежуток времени в сотни миллионов лет. Разнообразие типов оруденения в провинции является следствием сложного геологического строения. Каждый из них связан с тектономагматическими процессами, протекавшими в определенный период геологического развития территории.

Золоторудные поля в Енисейском кряже приурочены к тектоническим зонам, по которым проявлен дислокационный метаморфизм, осложняющий структуру регионального метаморфизма. Основное отличие полей выражается в протекании разных магматических и тектонических процессов, которые активизировали рудогенез на той или иной территории. Процессы ранне-неопротерозойской орогении проявились в формировании магматических гранитогнейсовых куполов с зонами регионального метаморфизма разных фаций в эпоху формирования суперконтинента Родиния, в свою очередь рифтинговые процессы были инициаторами внутриплитного и рифтогенного магматизма уже в позднем неопротерозе, с которым связывают основные этапы рудопроявления на территории Енисейского кряжа.

Большинство коренных и россыпных месторождений располагается в Центральной металлогенической зоне, приуроченной к Татарскому и Ишимбинскому глубинным разломам, зарождение и развитие которых относится к процессам рифтогенеза в эпоху мезопротерозоя, предположительно 1,4–1,1 млрд. лет назад.

Разное проявление месторождений в геофизических полях в пределах Енисейского кряжа и его отдельных рудных узлов непосредственно связано, в первую очередь, с тектономагматическими этапами развития территории, которые стали причиной протекания рудоподготовительных и золоторудных процессов. Примерно 960 млн. лет назад гренвилевская орогения привела к образованию гранитогнейсовых куполов тейского типа, следствием чего стало развитие кварцевых метасоматитов, а уже 880–860 млн. лет назад гранитоиды Каламинского типа привели к протеканию дорудного метасоматоза. Эти эпохи гранитоидного магматизма в золоторудном регионе формируют подготовительные этапы с образованием вмещающих пород неопротерозойского возраста [1]. Поздняя орогения с образованием надвигов, складок и зон локального

динамометаморфизма возрастом 850–820 и 800–780 млн. лет назад сформировала золото-арсенопирит-кварцевый этап рудогенеза, с которым связывают месторождения Эльдорадинское, Советское, Олимпиадинское, Панимбинское и Ведугинское. Дальнейшие тектономагматические и связанные с ними золоторудные этапы происходили в обстановках растяжения – постколлизийного рифтогенеза. Углеродистые кварц-мусковитовые и мусковит-хлоритовые метасоматиты образовались 750 млн. лет назад синхронно с формированием даек ковригинского комплекса и внедрением гранитов А- и S-I типов Аяхтинского и А-гранитов Глушихинского комплексов. Золото-полисульфидный этап возрастом 700 млн. лет назад, связанный с трахибазальт-трахитовой ассоциацией, Захребетнинским бимодальным комплексом и Кутукаским комплексом А-гранитов, проявлен на месторождениях Герфед, Советском, Панимбинском, Ведугинском, Раздольнинском, Удерейском и Попутнинском. Заключительный, золото-сурьмяный рудный этап (670–650 млн. лет назад), связывают с развитием ультраосновных щелочных пород чапинского и среднетатарского комплексов. Он проявлен на месторождениях Герфед и Удерейском [1].

Верхне-Енашиминский золоторудный узел располагается в Центральном металлогеническом поясе, будучи ограниченный с запада зоной Татарского, а с востока – зоной Ишимбинского глубинных разломов. В геологическом строении узла принимают участие нижнепротерозойские породы тейской, а также верхнепротерозойские породы сухопитской серий [5]. Первая представлена преимущественно кристаллическими сланцевыми породами свиты хребта Карпинского (PR_{1hk}), а также согласно залегающими мраморами и амфиболитами пенченгинской свиты (PR_{1pn}). Породы сухопитской серии, имеющие осадочное происхождение в условиях трансгрессивно-регрессивных седиментационных циклов, представлены терригенными образованиями, регионально-метаморфизованными в зеленосланцевой и эпидот-амфиболитовой фациях. Залегающая в основании данной серии кординская свита (RF_{1kd}) имеет наиболее широкое распространение на территории рудного узла и складывается аркозовыми метапесчаниками, серицит-, биотит-мусковитовыми и углистыми сланцами (метаалевролитами). Вышележащая горбилоская свита (RF_{2gr}), в свою очередь, представлена хлорит-серицит-кварцевыми сланцами. Магматические образования на рассматриваемой территории имеют широкое площадное распространение (до 30 %) и представлены на северо-западе тейским массивом, тырадинским на западе, чиримбинским на юге и гурахтинским на востоке [4]. Стратифицированные докембрийские образования занимают большую часть площади, на них наложены метаморфические и метасоматические преобразования, они осложнены многочисленными пликативными и разрывными нарушениями.

На рассматриваемом участке хорошо проявляется аномальная зона северо-западного направления, которая выделяется в углеродистых сланцах кординской свиты низкими значениями естественного электрического поля (от -300 до -700 мВ), низкими значениями кажущегося электрического сопротивления (от 50 до 500 Ом·м), а также высокими значениями магнитного поля, где они достигают до 200 нТл, причем в поле ΔT смещение аномалии происходит в более северном направлении. Ее выделение можно связать, в том числе, с действием интрузивных образований тырадинского массива. Судя по всему, здесь проявляются зоны графитизации, которые отождествляются с участками наиболее интенсивного проявления процессов углеродистого метасоматоза. При этом, за счет смещения аномалии ΔT предполагается усиление метаморфизма в северо-восточной части описываемой зоны, где РТ-условия были достаточными для разложения пирита на пирротин и свободную серу. Тырадинское и Оленье месторождения имеют приуроченность к данной аномальной зоне.

Подобного рода аномалия субмеридионального простирания выделяется на границе пород среднекординской, верхнекординской и горбилоской свит. Выделение динамосланцев в области контакта указывает на наличие протяженной тектонической зоны, что является благоприятным условием для локализации оруденения. В физических полях описанная зона выделяется идентичным образом по низким значениям естественного электрического поля ЕП, кажущегося электрического сопротивления $\rho_{\text{каж}}$, а также высоким значениям магнитного поля ΔT .

В целом, минерализованная рудная зона отчетливо выделяется по результатам магниторазведки, электроразведки, гамма-спектрометрии и вторичными золотометрическими ореолами рассеяния. Аномалии магнитного поля достигают 100–150 нТл. Сопротивления электрического поля от значений в 3000–7000 Ом·м над неизменными кварц-слюдистыми сланцами, над верхней окисленной и выветрелой частью рудоносной зоны понижаются до 1000 Ом·м. За счет рассеянной сульфидной вкрапленности создается аномалия вызванной поляризуемости до 10 %. По результатам гамма-спектрометрии устанавливаются участки неравновесного распределения радиоактивных элементов с повышенными содержаниями калия (серицитизация) при пониженных концентрациях урана, рудоносная зона наиболее четко отмечается повышенным калий-урановым отношением.

Сульфидная минерализация в Верхне-Енашиминском рудном узле, с которой связано золотое оруденение, представлена, в основном, пирротинном. В меньших количествах встречаются халькопирит, пирит, арсенопирит. Пирротин здесь относится к моноклинной модификации, что подтверждается его сильной магнитностью. В отложениях сухопитской серии пирротин встречается в зонах наложенной сульфидной минерализации, которые могут быть стерильными в отношении золотого оруденения или сопровождать его.

В поле $\rho_{\text{каж}}$ линейные зоны высоких сопротивлений интерпретируются в качестве зон жильно-прожилкового окварцевания и тел кварцитов. При наличии сульфидной минерализации они совмещаются со слабоинтенсивными магнитными аномалиями и отрицательными аномалиями потенциала ЕП. Положительные линейные аномалии (50–100 нТл) в комплексе с отрицательными аномалиями потенциала ЕП (-300...-500 мВ) соответствуют зонам сульфидной пирротиновой минерализации. Такого рода аномалии хорошо проявлены на контакте пород кординской и горбилоской свит, что может свидетельствовать

о достаточных условиях метаморфизма, в ходе которых по зонам повышенной проницаемости происходил пирит-пирротинный переход. В описываемой области располагаются месторождения Олимпиадинское Восточное и Олимпиадинское Западное. Они тяготеют к зонам разрывных нарушений, в особенности к их пересечениям. Интенсивные отрицательные аномалии ЕП (до -800...-1000 мВ) в сочетании с зонами низких сопротивлений ограничивают зоны графитизированных пород.

Особенность формирования золотого оруденения заключается в образовании минерализации на границе пород с резко отличающимися физическими свойствами, что создает определенную петрофизическую зональность, в пределах которой выделяются отдельные зоны. Зона проявленной пирротинной минерализации в Верхне-Енашиминском золоторудном узле выделяется в локальных положительных аномалиях магнитного поля ΔT [3]. Зона пирит-графитовой минерализации, располагающаяся в надрудном горизонте, за счет высокого содержания измененного С-вещества характеризуется пониженными значениями кажущегося электрического сопротивления при повышенном потенциале естественного поля ЕП. Пирротин-графитовая зона интенсивных метаморфогенных изменений выделяется пониженными значениями $r_{\text{каж}}$, отрицательными значениями поля ЕП и высокими значениями магнитного поля ΔT , особенно в пределах развития моноклиной разновидности пирротина [2]. Рудовмещающая зона может быть разделена на области развития арсенопирит-пирротинной минерализации и кварцево-карбонатной. Первая характеризуется высокими значениями поля ΔT при средних сопротивлениях $r_{\text{каж}}$, а вторая выражается высокими значениями кажущегося электрического сопротивления при низких значениях ΔT .

Литература

1. Колмаков Ю.В. Геолого-петрофизические характеристики месторождений золота в протерозойских углеродистых толщах Восточной Сибири как основа прогнозной интерпретации аэрогеофизических данных [Текст]: дис. ... д-ра геол.-минерал. наук / Колмаков Юрий Викторович. – Томск, 2021. – 272 с.
2. Орехов А.Н. Структура физических полей на Олимпиадинском месторождении золота (Средняя Сибирь) // Естественные и технические науки. – 2009. – № 4. – С. 179-187.
3. Орехов А.Н. Природа аномалий физических полей Верхне-Енашиминского золоторудного узла (Енисейский край) [Текст]: дис. ... канд. геол.-минерал. наук / А.Н. Орехов. – Томск, 1998. – 271 с.
4. Сазонов А.М. и др. Геохронология гранитов, вмещающих сланцев и руд месторождения золота «Панимба» (Енисейский край) // Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии. – 2016. – Т. 9. – № 2. – С. 174-188.
5. Сердюк С. С. и др. Модели месторождений золота Енисейской Сибири. – 2010.

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ ФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ПАРТИЗАНСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО УЗЛА (ЕНИСЕЙСКИЙ КРЯЖ)

Вопилов И.Н.

Научный руководитель доцент Ю.В. Колмаков

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Различное выделение месторождений и рудопроявлений Партизанского рудного узла в геофизических полях обусловлено петрографической зональностью распределения и залегания пород тейской и сухопитской серий. Одни месторождения залегают в известково-сланцевой толще верхнепенчугинской подсвиты (Герфед-Николаевская группа месторождений), ряд других в черносланцевой толще средне- и нижнекординской подсвит (рудопроявление Урал, Сергиевская группа рудопроявлений), третьи в алевроито-сланцевой толще средне- и нижнеудерейской подсвит (Васильевское, Удерейское, Бабушкина Гора). При этом в тектоническом плане все вышеперечисленные месторождения контролируются субмеридиональными и связанными с ними ортогональными разломами, образуя зоны повышенной проницаемости [2].

Партизанский рудный узел в металлогеническом отношении является частью Южно-Енисейского золотоносного района и в структурном плане приурочен к Татарскому антиклинорию. В строении его присводовой части принимают участие палеопротерозойские отложения тейской серии, представленные породами пенчугинской свиты. Её нижняя подсвита является преимущественно карбонатной, в то время как верхняя представлена сланцами, начиная от углеродистых серицит-кварцевых и заканчивая биотит-кварцевыми. Нижняя часть свиты соответствуют преимущественно амфиболитовой фации регионального метаморфизма карельского цикла, причем породам верхней подсвиты присуща верхняя ступень уже эпидот-амфиболитовой фации с образованием биотита. Выше лежащие мезопротерозойские породы сухопитской серии, сложенные терригенными отложениями кординской, горбилоской и удерейской свит, претерпели байкальский цикл регионального метаморфизма. В дальнейшем в западной части Партизанского участка был проявлен неопротерозойский магматизм, представленный Татарским гранитным массивом, выполняющим ядро куполовидного поднятия. Разграничение пород сухопитской и тейской серий проходит вдоль разлома Мейстера субмеридионального направления [2].

Вытянутые положительные аномалии магнитного поля, проявленные в ортоамфиболитах индуглинского комплекса (v_bPR_{1i}), интерпретируются как результат контактового и регионального магматизма. Причем намагнитченность возрастает со степенью метаморфизма ортоамфиболитов, чем объясняется неоднородность вида аномалий ΔT . Залегающие в основании пенчугинской свиты светло-серые кварциты сами по себе не обладают магнитными свойствами, однако в области их залегания отчетливо проявлена

положительная концентрическая аномалия ΔT . Это может указывать на образование магнетита в зоне их контакта с основными породами индуглинского комплекса [3]. Хорошо проявляются в магнитном поле и амфиболитовые микросланцы верхней части нижнепенченгинской подсвиты. Учитывая то, что в ее строении также принимают участие немагнитные мраморы, можно предположить влияние метаморфизма именно на породы повышенной основности, содержащие Fe в своем составе, что и вызывает аномалию поля ΔT за счет образования магнетита. Местами повышенная намагнитченность верхнепенченгинских отложений является следствием протекания уже метаморфогенной пирротинизации, что также прослеживается в залегающих выше породах нижнекординской подсвиты, учитывая, что изменения в этих породах происходили при сопоставимых РТ-условиях. На уровне верхнепенченгинской и нижнекординской подсвит проявлено интенсивное замещение пирита пирротинном в результате регионального метаморфизма в температурном интервале до 500–600 °С для серицитовых сланцев ($PR_{1pn2}^1 - PR_{1pn2}^{2-3}$) и до 400–450 °С для углеродистых сланцев (RF_{1kd1}). При этом наличие углеродистого вещества в составе черных серицит-кварцевых сланцев верхнепенченгинской подсвиты привело к графитизации С-вещества на этапе регионального метаморфизма. Это является одной из причин того, почему в поле эффективных электрических сопротивлений изначально не обогащенные органическим веществом породы нижнепенченгинской подсвиты (PR_{1pn1}) характеризуются повышенными значениями электрического сопротивления вплоть до 4000 Ом·м относительно верхнепенченгинских ($PR_{1pn2}^1 - PR_{1pn2}^{2-3}$) где оно доходит до значений, не превышающих 2000 Ом·м. Графитизация подтверждается еще тем, что наиболее С-содержащие отложения удерейской свиты, в особенности нижней подсвиты, характеризуются более высокими значениями сопротивления, нежели отложения верхнепенченгинской подсвиты, что указывает на отсутствие графитизации углеродистого вещества в них.

В поле эффективных электрических сопротивлений отложения кординской свиты выделяются пониженными значениями относительно терригенных отложений удерейской и горбилоской свит. Это объясняется более подверженной графитизацией углеродистого вещества в условиях регионального метаморфизма биотитовой зоны фации зеленых сланцев за счет более глубокого залегания пород, где температура достигает 450 °С. Для нижней части кординской свиты характерно значительное количество новообразований биотита, что подтверждает высокую интенсивность метаморфизма в этой зоне и как результат - увеличение графитизации, что влечет за собой закономерное понижение электрического сопротивления [3]. Последующее снижение РТ-условий метаморфизма для отложений удерейской свиты не привело к графитизации С-вещества. Даже учитывая высокую степень его содержания в глинистых породах флишевой фации осадконакопления сопротивления в них довольно высокие [4].

На карте магнитного поля также хорошо проявляется метаморфическая зональность пород сухопитской серии, где для стратиграфически залегающих ниже пород кординской свиты характерны положительные аномалии приращения вектора индукции магнитного поля ΔT , в особенности для нижней подсвиты. Эта зона интерпретируется как зона максимального замещения пирита пирротинном в результате интенсивных регионально метаморфических изменений, что выражается в конечном увеличении намагнитченности пород. Отложения среднекординской подсвиты и вышележащих горбилоской и удерейской свит уже не имеют в своем составе соответствующей пирротиновой минерализации, что проявляется в заметном снижении значений магнитного поля.

В поле мощности экспозиционной дозы прослеживается влияние Татарского гранитного массива на вмещающие сланцы пенченгинской свиты, что проявляется в увеличении содержания радиоактивных компонентов в зоне контакта. По мере их удаления происходит снижение общего радиационного фона и содержания отдельных элементов в породах. Расположенный на западе рассматриваемой территории массив гранитов характеризуется максимальными значениями содержания радиоактивных элементов. Создаваемая ими мощность экспозиционной дозы достигает 40 мкР/ч.

По данным содержания РАЭ на площади Партизанского участка отчетливо отделяется зона распространения пород пенченгинской свиты относительно пород сухопитской серии по падению значений поля мощности экспозиционной дозы (МЭД). Стоит учитывать, что терригенные отложения, которыми сложены породы данной серии, были изначально обогащены органическим веществом, так как их осаждение и накопление происходило в шельфовой обстановке осадконакопления. Органика, в свою очередь, способна адсорбировать U и Th благодаря своим физическим свойствам и возможности создания восстановительной среды [1].

Месторождения золота, приуроченные к породам сухопитской серии, тяготеют к зонам максимальной разгрузки радиоактивных элементов, что хорошо заметно в поле МЭД. В пределах этой серии выделяются локальные аномалии максимального содержания U, Th и K, проявленные на границе пород кординской и горбилоской свит. Учитывая, что торий является наименее подвижным элементом из трех перечисленных, можно говорить о максимально интенсивном накоплении РАЭ в этих зонах в ходе метасоматических изменений [4]. Именно там локализуются месторождения Васильевское, а также Архангельское, для которого характерны максимальные содержания Au по вторичным ореолам рассеяния, значения которых достигают до 1 г/т. Описанные зоны на уровне сухопитской серии осложняются большим количеством мелких разрывных нарушений, образуя зоны повышенной проницаемости, по которым развивались метасоматические изменения с накоплением золота и РАЭ. При этом месторождения не располагаются в «эпицентре» аномалий, а смещены к их периферийной области, что указывает на определенную зональность осаждения химических элементов, которая также проявляется и на Ново-Васильевском и Никольском месторождениях.

Месторождения Герфед-Николаевской группы расположены в сланцевых породах верхнепенченгинской подсвиты в непосредственной близости к контакту с отложениями нижнекординской подсвиты сухопитской серии. Визуально рудная зона вытянута в субмеридиональном направлении и представлена месторождениями (с юга на север): Самсон, Герфед, Верхне-Удерейское, Николаевское.

Сульфидная минерализация в них представлена пирротином, пиритом, халькопиритом и арсенопиритом в виде гнезд и прожилков [2]. Рудная пирротиновая зона отчетливо проявлена в поле вытянутой положительной аномалии приращения вектора индукции магнитного поля ΔT , а также в поле эффективных электрических сопротивлений за счет графитизации С-вещества аномалией сопоставимой формы. Наибольшая интенсивность РАЭ проявлена в южной части описываемой зоны. В целом, чем ближе месторождение располагается к контакту с углеродистыми сланцами кординской свиты, тем более явно в нем выделяются радиогеохимические аномалии, что хорошо проявлено на Николаевском месторождении.

На основании геологического строения и развития территории Партизанского рудного узла можно судить об однозначной зональности проявления геофизических аномалий магнитного поля, поля эффективных электрических сопротивлений, а также радиогеохимических аномалий. Тепловой прогрев при контактовом метаморфизме вмещающих пород в зоне контакта с Татарским гранитным массивом выразился в перераспределении РАЭ элементов и образовании магнетита в ортоамфиболитах индиглинского комплекса, которые выделяются изометричными аномалиями поля ΔT на фоне слабомагнитных кварцитов. Влияние регионального метаморфизма на породы тейской и сухопитской серий проявлено в виде активации пирротиновой минерализации и графитизации С-вещества, а также в виде регионального перераспределения радиоактивных элементов из отложений пенченгинской свиты в отложения сухопитской серии. На фоне падения значений $\rho_{\text{эф}}$ отчетливо выделяется зона протекания активной графитизации углеродистого вещества в породах верхнепенченгинской и кординской свит. Дальнейший рост $\rho_{\text{эф}}$ в углеродистых породах удерейской свиты сигнализирует об остановке протекания данного процесса в связи с недостаточными РТ-условиями регионального метаморфизма.

Литература

1. Арбузов С.И., Рихванов Л.П. Геохимия радиоактивных элементов. – 2009.
2. Колмаков, Ю. В. Геолого-петрофизические характеристики месторождений золота в протерозойских углеродистых толщах Восточной Сибири как основа прогнозной интерпретации аэрогеофизических данных [Текст]: дис. ... д-ра геол.-минерал. наук / Колмаков Юрий Викторович. – Томск, 2021. – 272 с.
3. Сазонов А.М. и др. Золоторудная металлогения Енисейского кряжа: геолого-структурная позиция, структурные типы рудных полей // Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии. – 2010. – Т. 3. – № 4. – С. 371-395.
4. Сердюк С.С. и др. Модели месторождений золота Енисейской Сибири. – 2010.

АНАЛИЗ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ ПРИ ОБОСНОВАНИИ КРИТИЧЕСКИХ УДЕЛЬНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ НЕФТЕ- И ВОДОНАСЫЩЕННЫХ ИНТЕРВАЛОВ В ОТЛОЖЕНИЯХ ТЮМЕНСКОЙ СВИТЫ

Гильманова К.Я.

Научный руководитель доцент В.Г. Мамяшев

Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, Россия

Оценка характера насыщенности пород-коллекторов является одной из основных и традиционно успешно решаемых задач исследований нефтегазоносных разрезов по материалам геофизических методов исследований скважин. Вместе с тем в ряде нефтегазоносных объектов эффективность решения этой задачи оказывается недостаточной. К таким объектам относятся потенциально нефтегазоносные отложения тюменской свиты. Особенность освоения залежей нефти в рассматриваемых отложениях связана с неподтверждением характера насыщенности пластов по данным геофизических исследований скважин (ГИС) данными опробования (испытания) скважин. Как правило, это сопряжено получением притоков нефти с водой (воды с нефтью) из пластов, характер насыщенности которых определен как чисто нефтенасыщенный.

Таким образом, очевидна актуальность изучения рассматриваемого объекта с целью обоснования комплексной петрофизической модели пород-коллекторов тюменской свиты, учитывающей особенности оценки характера насыщенности этих пород. Одной из основных задач является анализ существующих способов обоснования критических значений удельного электрического сопротивления ($УЭС$) для разделения нефте- и водонасыщенных интервалов.

При создании алгоритмов интерпретации данных ГИС для коллекторов тюменской свиты большое значение имеют специальные исследования керна (замеры удельного электрического сопротивления, относительные фазовые проницаемости – ОФП и т. д.). Однако на достоверность обоснования того или иного параметра на основе экспериментальных данных существенное влияние оказывают множество факторов, связанных как с условиями проведения исследований, так и с характеристиками самого пласта по смачиваемости [3]. В последнее время развитие получило проведение исследований на образцах с восстановленной смачиваемостью [2, 4].

В ряде случаев для оперативной оценки смачиваемости коллекторов, а именно установления факта гидрофобизации, достаточно прямого сопоставления значений пористости, определенной при насыщении модели пластовой водой ($К_{п.в}$) и при насыщении керосином ($К_{п.к}$) [1]. Для изучаемых пластов наблюдается неоднозначность оценок: чаще всего наблюдается незначительное превышение $К_{п.к}$ над $К_{п.в}$, составляющее в среднем не более 1 %, в области коллекторов с пористостью от 12 до 15 %. Однако в пластах ($Ю_2$ – $Ю_4$),

превышение $K_{п.к}$ над $K_{п.в}$ может достигать 5–7 %, что свидетельствует о гидрофобности слагающих их пород-коллекторов.

Имея кондиционные испытания и результаты экспериментов по относительным фазовым проницаемостям, можно рассчитать критические УЭС на границе продуктивного и водонасыщенного коллектора, используя стандартные зависимости параметра пористости от коэффициента пористости $R_p(K_p)$ в атмосферных условиях и $R_p(K_v)$, параметра насыщения от коэффициента водонасыщенности $R_n(K_v)$, относительного параметра $R_o(K_v)$, а также зависимости удельного электрического сопротивления от объемной водонасыщенности $\rho(W)$. При расчетах используются как значения остаточной нефтенасыщенности ($K_{но}$), так и критические значения водонасыщенности по данным ОФП на границе совместной фильтрации нефть + вода с водой (K_v^{**}).

Значения критических УЭС ($\rho_{п.кр}$) для отложений тюменской свиты (деление «нефть-вода»), обоснованные по фактическим результатам испытаний, колеблются от 8 до 15 Ом·м, составляя в среднем 10–11 Ом·м. Однако расчетные значения критического сопротивления, полученные с использованием зависимостей $R_p(K_p)$ в атмосферных условиях и $R_n(K_v)$, приводят к заниженным данным, составляющим от 4 до 7 Ом·м. При использовании зависимости $R_p(K_p)$, полученной в условиях, моделирующих пластовые, значения критического сопротивления достигают 5–8 Ом·м. При использовании для этих расчетов обобщенной зависимости удельного электрического сопротивления от объемной водонасыщенности ($W_{керна}$), построенной по данным керна, отобранного с помощью растворов на углеводородной основе (РУО), значения $\rho_{п.кр}$ приближаются к фактическим и составляют от 7 до 14 Ом·м. Однако даже в этом случае наблюдается расхождение фактических данных УЭС по испытаниям с расчетными данными. В области коллекторов с пористостью от 14 до 18 %: они составляют около 1–2 Ом·м, что может быть связано как с особенностями обобщенной зависимости $\rho_{п.кр} = f(W_{керна})$, что требует её уточнения, так и с занижением принимаемых значений $K_{но}$ и K_v^{**} , то есть с особенностями проведения экспериментов по ОФП.

Таким образом, существующее петрофизическое обеспечение, основанное на применении типовых зависимостей $R_p(K_p)$ и $R_n(K_v)$, приводит к занижению расчетных значений $\rho_{п.кр}$. В этом случае для отложений тюменской свиты рекомендуется применять зависимости вида $\rho_{п.кр} = f(W_{керна})$, полученные на объекте исследований. Также требуется уточнение методики проведения экспериментов по ОФП, так как в настоящее время подготовка образцов осуществляется центрифугированием, что может привести к заниженным значениям K_v^{**} . Для верификации результатов ОФП, необходимо проведение фильтрационных исследований на керне с шадящей экстракцией и восстановленной смачиваемостью.

Литература

1. Григорьев С.Н. О методике оценки относительной смачиваемости коллекторов продуктивных отложений [Текст] / С.Н. Григорьев // Известия вузов. Сер. Нефть и газ. – 1980. – № 11. – С. 33-38.
2. Исследование восстановления с помощью ядерной магнитной релаксометрии и метода Горного бюро США (USBM) естественной смачиваемости горных пород [Текст] / В.Г. Топорков, С.Ю. Рудаковская, П.В. Кошкин, С.А. Борисенко // Каротажник. – 2016. – № 8(266). – С. 45-59.
3. Михайлов Н.Н. Условия формирования микроструктурной смачиваемости и их влияние на фильтрационно-емкостные свойства продуктивных пластов [Текст] / Н.Н. Михайлов, Н.А. Семенова, Л.С. Сечина // Георесурсы, геоэнергетика, геополитика. – 2010. – № 1(1). – С. 30.
4. Особенности проведения лабораторных исследований негидрофильных пород-коллекторов [Текст] / И.С. Путилов, Д.Б. Чижов, И.П. Гурбатова, А.И. Неволин // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2021. – Т. 332. – № 4. – С. 70-79.

ВОЗМОЖНОСТИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД

Минаков М.С., Насыров Р.Г.

Научный руководитель ассистент Д.С. Крутенко

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Исследование многолетнемерзлых пород для инженерно-геологического обеспечения гражданского и промышленного строительства является весьма актуальным в условиях нашей страны в связи с тем, что их распространенность охватывает большую часть ее территории. Многолетнемерзлыми называются породы, в составе которых имеется лед на протяжении многих лет – десятков, сотен, тысяч. Они образуют отдельные линзы, слои, толщи, мощные толщи, что в совокупности представляет собой геокриологическую зону верхней части земной коры [1]. Особенностью строения массивов мерзлых пород является наличие участков незамерзающих пород, так называемых таликов. Оттаивание льда в составе пород приводит к увеличению их пористости, скважности и, как следствие – проницаемости. Так повышение температуры верхних горизонтов криолитозоны в арктических регионах привело к деформации около 40 % зданий и сооружений [3]. Задачи инженерно-геофизических исследований включают: определение положения кровли многолетнемерзлых пород, структурные взаимоотношения многолетнемерзлых пород и таликов, литологическое расчленение криолитозоны.

Целью настоящего исследования является оценка возможностей геофизических методов для изучения строения криолитозоны. Для решения данной задачи предлагается использовать методы электроразведки

(электротомография, вертикальное электрическое зондирование, электропрофилирование), сейсморазведки (метод преломленных волн) и георадиолокации.

Метод георадиолокации основан на определении расстояния до объекта, отражающего радиоволны. Интенсивность отраженных сигналов от границы раздела между геологическими телами тем выше, чем больше отличие слагающих их пород по диэлектрической проницаемости (ϵ). Вода обладает аномальной ϵ равной 80, большинство породообразующих минералов имеют на порядок меньшую величину, поэтому диэлектрическая проницаемость горных пород, главным образом, зависит от количества воды в их составе. Промерзание пород приводит к резкому уменьшению их диэлектрической проницаемости в связи с крайне низкой ϵ льда, равной 4, что обеспечивает надежное выделение кровли многолетнемерзлых пород (ММП) этим методом. Контрастность выделения многолетнемерзлых пород ухудшается с ростом их дисперсности, что обусловлено увеличением доли незамерзшей воды в тонкодисперсных средах (глинах).

Главными измеряемыми параметрами в **электроразведочных методах** являются кажущееся удельное электрическое сопротивление (УЭС) и поляризуемость. УЭС льдов имеет высокие значения (10^2 – 10^8 Ом·м) и зависит от их минерализации. Следовательно, промерзание горных пород всегда сопровождается ростом удельного электрического сопротивления: в скальных породах – в 10 раз, в тонкодисперсных рыхлых породах (глины, суглинки) – в 10–100 раз, в грубодисперсных породах (пески, гравийно-галечниковые отложения) – в 100–1000 раз [3]. Вызванная поляризация мерзлых пород выше, чем талых, и достигает 2–3 % для мелкодисперсных пород, 10 % – для льда и 15 % – для грубодисперсных. Использование названных методов позволит выделять верхнюю и нижнюю границы толщи многолетнемерзлых пород, наличие таликов в криолитозоне и их морфологию, а также линзы многолетнемерзлых пород на фоне талых пород в условиях островной мерзлоты.

Значительное увеличение скорости упругих волн во льду (V_p – 3100–4200 м/с, V_s – 1600–2100 м/с) относительно воды (V_p – 1600–2100 м/с, $V_s = 0$) и цементирующее влияние льда в рыхлых породах способствуют возрастанию скорости распространения упругих волн при переходе пород в мерзлое состояние [1]. Промерзание грубодисперсных пород приводит к увеличению V_p в 3–5 раз, V_s – в 5–15 раз, тонкодисперсных – V_p в 1,5–3 раза и V_s – в 5–7 раз (меньшая контрастность связана с большей долей незамерзшей воды), скальных пород – не более чем в 2–3 раза (в зависимости от их трещиноватости) [3]. Это обосновывает возможность применения **сейсморазведки методом преломленных волн (МПВ)**. Метод позволяет выделять кровлю ММП, талики и в комплексе с электроразведочными методами способствует литологическому расчленению криолитозоны.

В заключение, исследования многолетнемерзлых пород имеют ключевое значение для обеспечения устойчивости и безопасности гражданского и промышленного строительства в регионах с вечномерзлыми грунтами. Методы геофизических исследований, такие как электроразведка, сейсморазведка и георадиолокация, являются эффективными инструментами для изучения структуры криолитозоны и определения границ многолетнемерзлых пород. Эти методы позволяют выявить ключевые характеристики: кровлю многолетнемерзлых пород, присутствие таликов и морфологию криолитозоны, что способствует более точной оценке инженерно-геологических условий и предотвращению возможных деформаций зданий и сооружений в результате изменения температуры в арктических и субарктических регионах.

Литература

1. Ломтадзе В.Д. Инженерная геология: Инженерная геодинамика: учебное пособие. – Недра. Ленингр. отд-ние, 1977.
2. Огильви А.А. Основы инженерной геофизики: учебное пособие. – Недра, 1990.
3. Судакова М.С. и др. Геофизические методы в геокриологическом мониторинге // Вестник Московского университета. Серия 4. Геология. – 2022. – № 6. – С. 141–151.

АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ И РАДИОГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ МЕСТОРОЖДЕНИЯ СУХОЙ ЛОГ (ПАТОМСКОЕ НАГОРЬЕ)

Слоквенко В.В.

Научный руководитель доцент Ю.В. Колмаков

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Актуальность проблемы: генезис оруденения месторождения Сухой Лог является предметом многолетних споров. В основном, оспаривается вопрос ключевых стадий формирования оруденения и в частности – вклад наложенных гидротермальных процессов.

Цель исследования: по результатам анализа структуры геофизических и радиогеохимических полей определить или опровергнуть многостадийный характер формирования месторождения и дать предварительную трактовку природы петрофизических неоднородностей.

Объект исследования. Месторождение Сухой Лог входит в состав Кропоткинского рудного узла Бодайбинского золоторудного района. Бодайбинский район в геотектоническом отношении приурочен к структуре первого порядка – Бодайбинскому синклинию в составе Байкало-Патомской складчатой области. Оруденение приурочено к третьей подсвите хомолхинской свиты, сложенной тонким переслаиванием алевролитов и углеродистых сланцев. Перекрывающими являются отложения имняхской свиты, представленные карбонатными и карбонатно-терригенными отложениями. Подстилающими являются отложения второй

подсвиты хомолхинской свиты, представленные серыми известняками с тонкими прослоями алевролитов [2]. Подстилающими являются серые известняки с тонкими прослоями алевролитов второй подсвиты хомолхинской свиты. Породы регионально метаморфизованы в хлорит-серицитовую субфацию фации зеленых сланцев. Вблизи месторождения, в 6 км юго-западнее, располагается Константиновский гранитоидный массив. Месторождение локализовано в одноименной антиклинали 3 порядка, опрокинутой на юг с осевой плоскостью, падающей, соответственно, на север. Данная структура характеризуется высокой степенью тектонической переработки. Осевая плоскость складки осложнена зоной смятия, которой свойственны интенсивные кливаж и сланцеватость. Рудное тело локализовано в области пересечения шарнира с осевой плоскостью складки. Антиклиналь пересекается субмеридиональная зона трещиноватости. Оруденение приурочено к березитоидным метасоматитам [2]. Наложенные гидротермальные процессы происходили в несколько этапов, отчетливо выделяются продукты березитоидного метасоматизма натриевой и калиевой направленности. Продукты калиевого метасоматизма образовывались по продуктам натриевого. Формирование оруденения также происходило в несколько этапов: основной этап, в который происходило формирование жил и вкрапленников, датируется 447 млн лет, второй этап, в который формировались кварцевые жилы, датируется 320 млн лет [1].

Анализ структуры геофизических и радиогеохимических полей. Зона наиболее интенсивной сульфидной минерализации в центральной части рассматриваемого участка, которая контролируется осевой плоскостью складки, характеризуется положительной аномалией Δg , смещенной в большей степени в сторону замковой части складки (рис. А). Экстремумы данной аномалии (+0,4; +0,6 мГл) приурочены к оси складки. Ее интенсивность снижается в северном направлении согласно с падением осевой плоскости и полностью затухает в верхней подсвите имняхской свиты. Кроме того, зона интенсивной минерализации характеризуется крайне высокими значениями кажущегося удельного электрического сопротивления (УЭС) (до 20000 Ом·м) и локальными субизометричными отрицательными магнитными аномалиями (-30 гамм) (рис. Б, Г). Аномалии УЭС и Δg пространственно согласованы между собой, а магнитные расположены от них несколько севернее, по падению осевой плоскости.

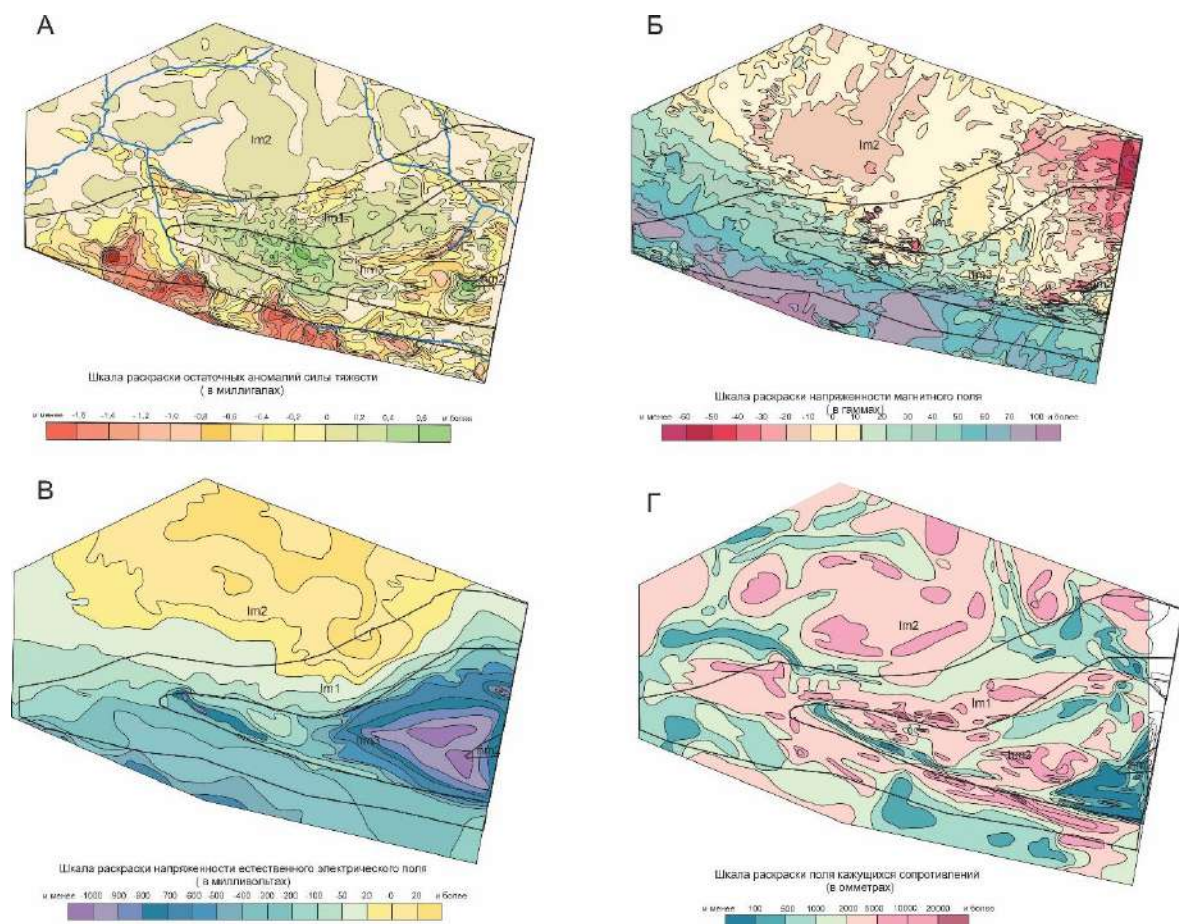


**Рис. Геофизические поля месторождения Сухой Лог: А – гравитационное; Б – магнитное;
В – естественное электрическое поле; Г – поле кажущихся удельных сопротивлений**

В магнитном и гравитационном полях наблюдаются нарушения их структуры, выраженные в изменении направления их изолиний вдоль систем субмеридиональных разломов. Нагляднее всего данные нарушения проявлены в области концентрации сульфидной минерализации.

Вдоль южной границы имняхской и хомолхинской свит выделяется вытянутая субширотная аномалия крайне низких сопротивлений (100; 500 Ом·м), ограниченная с запада замковой частью складки (рис. Г). С ней также сопряжена интенсивная аномалия естественного поля (ЕП) (-400; -500 мВ) (рис. В). Обе они имеют хорошую согласованность с границей контакта свит и сопряжены с выходом на поверхность малого рудного тела.

Ядерная часть антиклинали характеризуется интенсивными аномалиями ЕП (до -1000 мВ), пониженными значениями Δg (-0,6; -1,2 мГл) и крайне низкими сопротивлениями (до -100 Ом·м) (рис., А, В, Г). Морфологически все аномалии согласованы с границами стратиграфических подразделений. Наибольший интерес вызывает аномалия ЕП, отчетливо выделяющаяся на фоне относительно слабо поляризуемых отложений. Аномалия низких УЭС совпадает с ней по форме внешнего контура, но ее структура нарушается присутствием области повышенных сопротивлений, которая, в свою очередь, сопряжена с областью пониженных значений Δg .

Вдоль всей южной границы рассматриваемого участка наблюдается интенсивная отрицательная аномалия (до -2 мГл), образованная нескрытой частью Константиновского массива. Местами отмечаются нарушения направления изолиний данной аномалии, контролируемые субмеридиональными разломами. К данной области также приурочены положительные магнитные аномалии (+70; +100 гамм).

Практически все ореолы повышенного содержания калия и тория приурочены к хомолхинской свите. Она характеризуется высокой степенью однородности содержания калия и тория, от 1,9 % до 2,5 % и от 6,8 % до 7,5 % соответственно. Вблизи замковой части складки и восточнее, вблизи выхода средней подсвиты хомолхинской свиты, выделяются ореолы с содержанием от 2,7 до 3 %, контролируемые зонами интенсивной разрывной тектоники. Отложения имняхской свиты характеризуются значительно меньшим содержанием данных элементов. Тем не менее, восточнее замковой части складки выделяется ореол высоких содержаний калия и тория: 2,7 % и 8,2 % соответственно.

Выводы. Регионально метаморфизованные осадочные породы, не участвующие в строении Сухоложской антиклинали (северо-западная часть рассматриваемого участка), в аномальных полях проявлены с высокой степенью однородности. Практически все имеющиеся аномалии на месторождении приурочены либо к антиклинали, характеризующейся высокой степенью тектонической переработки, либо к разрывной тектонике. Наиболее интенсивные из них приурочены к пересечению зоны смятия осевой плоскости с субмеридиональными разломами. Структура геофизических полей месторождения контролируется структурой Сухоложской антиклинали. Формирование петрофизических неоднородностей месторождения Сухой Лог проходило в несколько этапов. Первый этап отчетливо прослеживается при анализе структуры гравитационного и электрического полей. Согласованность морфологии петроплотностных и петроэлектрических аномалий, а также интенсивной аномалии естественного поля, приуроченной к ядерной части складки, со структурой сухоложской антиклинали, предположительно, свидетельствует об их формировании одновременно или незначительно позже этапа линейного складкообразования. В последующие, уже рудные этапы, связанные с наложенными процессами, происходило изменение изначальной структуры аномальных полей, что выражается в нарушении согласованности изолиний с границами стратиграфических подразделений. Области нарушения структуры полей также контролируются субмеридиональными разломами. К этим же разломам приурочены области наибольшей концентрации калия.

Литература

1. Баирова Э.Д. и др. Этапы формирования крупномасштабной благороднометальной минерализации месторождения Сухой Лог (Восточная Сибирь): результаты изотопно-геохронологического изучения // Доклады академии наук. – 2007. – Т. 415. – № 2. – С. 236-241.
2. Русинов В.Л. и др. Окопрудный метасоматизм терригенных углеродистых пород в Ленском золоторудном районе. – 2008.

НЕОБХОДИМОСТЬ РАЗРАБОТКИ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРАВЛЕНИЯ АНИЗОТРОПИИ ТРЕЩИН НА ОСНОВАНИИ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ И СТАНДАРТНОГО КОМПЛЕКСА ГИС

Спицын А.С.

Научный руководитель профессор И.А. Мельник

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

В нефтегазоносных провинциях на территории Российской Федерации подавляющее большинство классических антиклинальных ловушек, особенно в верхних горизонтах осадочного чехла, разведано и успешно эксплуатируется [1]. По этой причине, вероятность открытия новых месторождений нефти и газа, приуроченных к крупным антиклинальным структурам, крайне низка. На современном этапе освоения нефтегазового комплекса перспективы открытия месторождений всё чаще связывают с обнаружением сложных резервуаров.

Одним из важнейших параметров сложных коллекторов является трещиноватость. Трещины зачастую являются основными путями фильтрации флюидов и участвуют в формировании емкостного пространства

коллектора [2]. Без учета латерального распределения основных параметров трещин невозможен прогноз, подсчет запасов и разработка залежей, связанных со сложными коллекторами. Наиболее распространённым способом латерального прогнозирования параметров трещиноватости является комплексирование сейсмических атрибутов со скважинными данными.

В процессе определения параметров трещин вдоль ствола скважины, так или иначе, прибегают к использованию всего доступного комплекса ГИС, однако наиболее информативными являются исследования кернового материала и азимутальные микроимиджеры (FMI, FMS, XRFI, CMI, OBM, UBI).

Наиболее распространенным и простым способом выявления зон трещиноватости на качественном уровне по сейсмическим данным является анализ геометрических атрибутов волнового поля. Такие атрибуты как когерентность, угол наклона, кривизна описывают неоднородности геологической среды на основе латеральных вариаций волнового поля. Наличие широкоазимутальных сейсмических данных позволяет прибегнуть к наиболее современным и перспективным на сегодняшний день методам AVAZ и VVAZ. Данные методы позволяют анализировать азимутальную анизотропию продольных и поперечных волн, связанную с динамическими (AVAZ) или кинематическими (VVAZ) параметрами волнового поля.

Таким образом, калибруя сейсмические атрибуты на скважинную информацию, мы имеем возможность получить представление о пространственном распространении зон повышенной трещиноватости и некоторых параметров трещин.

Возвращаясь к вызовам современности, связанным с переходом от классических антиклинальных ловушек к сложным коллекторам, нередко случаи возобновления геологоразведочных работ на площадях с достаточно старым фондом скважин, в которых отсутствуют данные микроимиджеров, а качества и количества кернового материала недостаточно для оценки трещиноватости. В таком случае возникает вопрос о возможности определения параметров трещин с использованием только стандартного комплекса ГИС для целей дальнейшего комплексирования с данными трехмерной сейсморазведки.

В предстоящей работе будет предложена и протестирована методика комплексирования данных трехмерной сейсморазведки и ГИС с целью прогнозирования направления анизотропии трещин. Параметры трещин в скважинах будут рассчитаны по стандартному комплексу ГИС с использованием метода статистически-корреляционной интерпретации, разработанного И.А. Мельником [3]. Данная методика, в случае положительных результатов тестирования, позволит выполнять прогнозирование параметров трещин в межскважинном пространстве на месторождениях, где отсутствуют скважинные данные, полученные современными методами.

Литература

1. Арчegov В. Б. Строение, нефтегазоносность и факторы контроля зональных скоплений углеводородов в древних комплексах Сибирской платформы // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2010. – Т. 5. – № 3. – С. 4.
2. Белоновская Л. Г., Булач М. Х., Гмид Л. П. Роль трещиноватости в формировании ёмкостно-фильтрационного пространства сложных коллекторов // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2007. – Т. 2. – С. 30.
3. Мельник И. А. Основы статистически-корреляционной интерпретации материалов геофизических исследований скважин. – 2022.

С Е К Ц И Я 4

ГИДРОГЕОЛОГИЯ, ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ И ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВО

ТЕРМООПОРА КАК МЕТОД ТЕРМОСТАБИЛИЗАЦИИ ГРУНТА

Акимова С.С.^{1,2}, Липихин Д.В.¹

¹Акционерное общество "Томский научно-исследовательский и проектный институт нефти и газа" (АО «ТомскНИПИнефть»), Томск, Россия

²Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия

Более 40 лет изучаются эффективные способы стабилизации состояния грунтов. Термостабилизация грунта – это комплекс мероприятий, направленных на сохранение мерзлого состояния грунта. Под методами сохранения мерзлоты: экранирование, проветриваемое подполье, установка охлаждающих труб и каналов, холодные первые этажи, активная температурная стабилизация (термоопоры и термостабилизаторы).

Термоопоры, известное, но редкоиспользуемое техническое решение, не получившее широкого распространения. Известно применение на опорах мостов. На данный момент не существует конструктивного решения, которое позволило бы использовать данный вид для стабилизации сооружений и опор ВЛ.

С точки зрения конструктива термоопора представляет собой свайное основание с коаксиальной вставкой и технологическими отверстиями, которые обеспечивают циркуляцию воздушных потоков. Рекомендации по конструкции сводятся к тому, чтобы конкретные конструктивные решения термоопор обеспечивали их работу и контроль за их состоянием в процессе эксплуатации. Для этого, прежде всего, должна быть обеспечена необходимая высота теплообменника (не менее 1/10 глубины заложения термоопоры сквозного типа и 1/6 – для коаксиального типа) [1].

В рамках данной работы рассмотрены 2 технических решения, обеспечивающих сезонное охлаждение грунтов: термоопора коаксиального типа и парожидкостной термостабилизатор. Парожидкостной термостабилизатор - закрытое теплообменное устройство с парожидкостным теплоносителем (хладагентом), применяемый для охлаждения и замораживания грунта и функционирующий за счет действия естественной разности температур атмосферного воздуха и грунта в холодный период года [2, 3].

При сравнении двух технических решений (рис. 1) выявлено, что термоопора коаксиального типа показывает результаты по площади объема замораживания близкие к результатам парожидкостного термостабилизатора при равной длине.



Рис. 1. Сравнение систем термостабилизации по объему и площади замораживания [1]

Для оценки эффективности работы установок важным параметром является оценка показателя мощности и средней температуры для зон радиусом 5 и 10 м (рис. 2). При анализе подтверждается небольшое различие показателей для термоопоры и парожидкостного термостабилизатора.

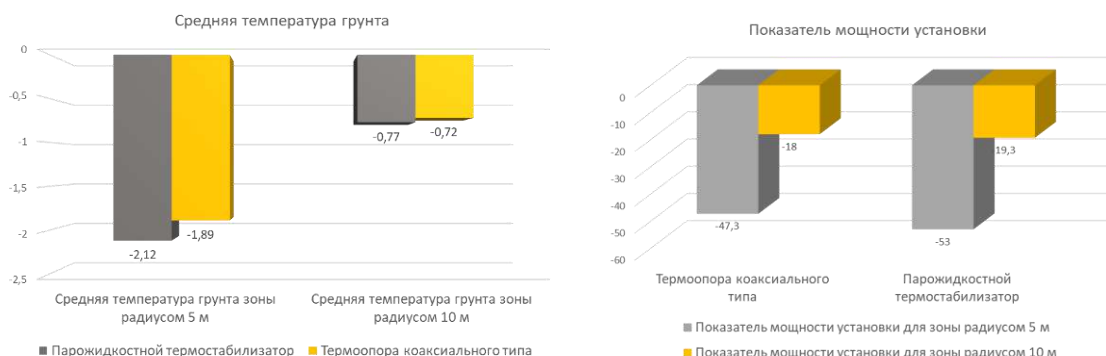


Рис. 2. Сравнение систем термостабилизации по средней температуре грунта и мощности [1]

В результате проведенного исследования можно сделать вывод, что при стабилизации грунта с помощью термостабилизатора достигается большая эффективность, но при этом использование термоопоры позволит снизить капитальные затраты предприятия на температурную стабилизацию, что связано с особенностями установки устройств.

С точки зрения оценки риска термоопора более надежное сооружение, что связано с тем, что отдельно стоящее сооружение требует дополнительных затрат на его очистку, также термостабилизатор может быть деструктивно нарушен в следствии деятельности человека на месторождении.

Также одно из главных проблем для использования термоопоры как современного способа температурной стабилизации является отсутствие методик расчета теплового воздействия, аналогичных по своей эффективности расчетам, производимым для оценки производительности термостабилизаторов в определенных геологических условиях.

В связи с особенностями конструктива и ограничениями, связанными с методиками расчета теплового воздействия, термоопора практически не используется для стабилизации грунта. На данный момент известны случаи применения подобных мероприятий на опорах мостовых сооружений.

Литература

1. Пассек В.В., Петров В.И. Термоопоры – эффективный и перспективный вид конструкций на вечной мерзлоте [Текст] / В.В. Пассек – М.: ОАО ЦНИИС, 2009 – с. 104
2. СП 354.1325800.2017 Фундаменты опор мостов в районах распространения многолетнемерзлых грунтов. Правила проектирования и строительства / СП 354 1325800 2017 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/550558705>
3. СП 25.13330.2020 Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах СНиП 2.02.04-88 (с Изменением N 1) / СП № 25.13330.2020 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/573659326>

ПОДБОР ОПТИМАЛЬНОГО ФУНДАМЕНТА ПРОМЫШЛЕННОЙ УСТАНОВКИ В ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ ЗАИНСКОГО МУНИЦИПАЛЬНОГО РАЙОНА РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

Анисимова Е.А.

Научный руководитель доцент А.И. Латыпов

Казанский Приволжский Федеральный университет, г. Казань, Россия

В административном отношении проектируемый объект расположен в Заинском муниципальном районе Республики Татарстан. Ближайшие к территории изысканий населенные пункты: с. Новое Маврино – на расстоянии 1,8 км, с. Старое Маврино – на расстоянии 3,3 км.

В геолого-литологическом строении площадки на вскрытую скважинами глубину до 15 м принимают участие неогеновые отложения (N_2), перекрытые четвертичными элювиально-делювиальными (edQ_{IV}) и техногенными (tQ_{IV}) грунтами. В соответствии с гидрогеологическим районированием территория исследования расположена в пределах Восточно-Русского сложного бассейна пластовых и блоковопластовых вод и приурочена к Камско-Вятскому артезианскому бассейну II порядка. В верхней части разреза выделяются подземные воды четвертичных и пермских отложений [1].

Был выполнен сбор, изучение, анализ инженерно-геологических условий. Проведены исследование физико-механических свойств грунтов. Изучены гидрогеологические особенности участка, геологические и инженерно-геологические процессы. Сделаны расчеты и проектирование двух видов фундамента. Выбран оптимальный и экономически выгодный тип фундамента – фундамент мелкого заложения [2].

Также необходимо учитывать, что проведенная работа может быть использована для безопасного строительства, которое с экономической точки зрения выгоднее при возведении фундамента мелкого заложения на 8 %, чем свайного фундамента.

Выбранный тип фундамента – фундамент мелкого заложения (рис. 1). Конструирование сделано с целью проверки возможности создания ступеней размерами 0,3*0,3 м. В итоге по б (рис. 2) получили 1 ступень; по 1 (рис. 3) – 2 ступень.

Целью данной статьи было изучить участок с инженерно-геологической точки зрения и выбрать наиболее подходящий по всем показателям тип фундамента. От правильности выбора зависит надежность, правильность и безопасность для дальнейшего строительства, и что немало важно уменьшение экономических затрат при возведении фундамента для объекта и при его эксплуатации.

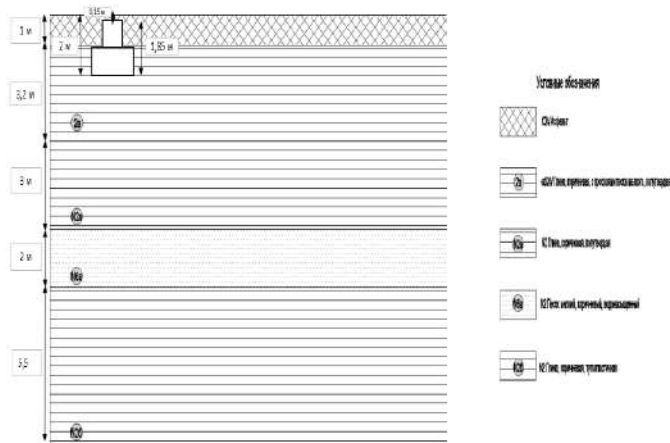


Рис. 1. Глубина заложения фундамента мелкого заложения

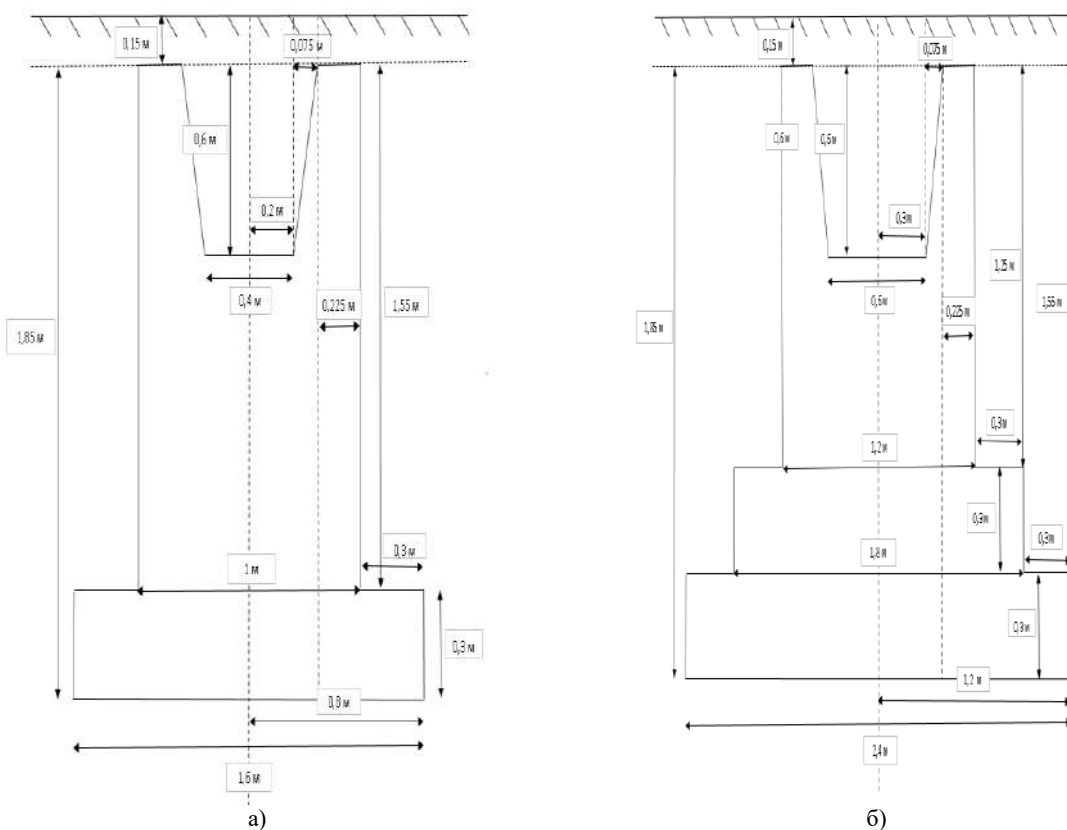


Рис. 2. Конструирование фундамента по б (а) и по 1 (б)

Литература

1. Анисимова Е.А. Инженерно-геологические условия площадки под строительство завода целлюлозы Заинского муниципального района Республики Татарстан [Текст]: вкр ... вкр геол. наук / Анисимова Евгения Андреевна. – К(П)ФУ, 2023 – 53 с.
2. Сунгатуллин Р.Х. Геология Республики Татарстан: учеб. пособие / Р.Х. Сунгатуллин, Г.М. Сунгатуллина – М.: Казань: К(П)ФУ, 2014 – 15 с.

СОВМЕСТНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА И ТЕХНОЛОГИИ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НА РАЗЛИЧНЫХ ЭТАПАХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ОБЪЕКТОВ НЕДВИЖИМОСТИ

Аленин И.Э.

Научный руководитель доцент А.В. Ершов

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск, Россия

Современные тенденции в сфере строительства и управления недвижимостью демонстрируют возрастающую роль цифровых технологий. Одним из наиболее перспективных направлений является совместное использование искусственного интеллекта (ИИ) и технологии информационного моделирования (ТИМ). Эти инструменты позволяют оптимизировать различные этапы жизненного цикла объектов недвижимости – от проектирования до эксплуатации и реконструкции. Введение ИИ в процессы ТИМ открывает новые возможности для автоматизации анализа данных, прогнозирования затрат, оптимизации проектных решений и повышения общей эффективности управления недвижимыми активами.

Целью данной работы является изучение применения ИИ в процессе информационного моделирования объектов недвижимости на разных жизненных циклах.

В рамках работы будут рассмотрены следующие задачи:

- определение основных этапов жизненного цикла объекта недвижимости;
- анализ возможностей использования ИИ на каждом этапе жизненного цикла объекта недвижимости;
- оценка эффективности применения ИИ в процессе информационного моделирования объектов недвижимости.

В «жизненный цикл здания или сооружения», согласно ФЗ №384 «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений», входят такие стадии как инженерные изыскания, проектирование, строительство, эксплуатация, реконструкция, капитальный ремонт и снос. Каждый из этих этапов жизненного цикла объектов недвижимости требует тщательного планирования, управления и контроля, чтобы обеспечить эффективное использование и долговечность объекта, а также его максимальную рыночную и кадастровую стоимость [1].

Первой стадией жизненного цикла объекта недвижимости являются инженерные изыскания, на которых проводят детальный сбор информации о предполагаемом месте размещения объекта недвижимости. Инженерные изыскания подразделяются на геодезические изыскания, геологические изыскания, экологические изыскания.

При инженерных изысканиях важной особенностью является скорость обработки и систематизированность полученных данных. Благодаря использованию искусственного интеллекта идентификация элементов местности производится в автоматизированном режиме. Автоматизированное обнаружение геодезических объектов на снимках, сделанных с использованием дронов или спутников, осуществляется благодаря технологиям компьютерного зрения. Этот метод позволяет эффективно определять и классифицировать разнообразные элементы ландшафта, такие как здания, дороги, а также другие искусственные и природные объекты на исследуемой территории. Формирование цифровых моделей местности и объектов основывается на использовании технологий компьютерного зрения для сбора и обработки данных, поступающих из множества источников. Эти модели отличаются высокой точностью и детальностью, что делает их незаменимыми инструментами для планирования и проектирования различных проектов.

Следующим этапом после получения всей необходимой информации о местности предполагаемого размещения объектов недвижимости является непосредственное проектирование данных объектов. Проектирование объектов недвижимости может осуществляться как в одностадийном порядке, так и в многостадийном. Многостадийное проектирование включает в себя 3 этапа: концептуальное проектирование, разработка проектной и рабочей документации. Каждый из этих этапов имеет свои специфические задачи и цели, направленные на создание полной информации об объекте недвижимости с целью его последующего возведения.

Этап концептуального проектирования характеризуется поиском оптимального варианта размещения и формы самого объекта недвижимости, включая квартирографию, этажность, расчеты инсоляционных параметров и ветровых нагрузок и т.п. Главной составляющей данного этапа являются: вариативность, скорость проведения расчетов различных параметров и выбор самого подходящего варианта размещения и формы будущего объекта недвижимости. Для осуществления поиска подходящих вариантов размещения и формы будущего объекта недвижимости используются программные комплексы генеративного дизайна с элементами применения искусственного интеллекта. Одними из таких подобных комплексов на отечественном рынке являются rTIM (компания Rocket Group) и Robot (компания ПИК). Данные программные комплексы оперативно производят расчеты и поиск оптимальных технико-экономических показателей, а также проектирования размещения и формообразования объектов недвижимости.

После утверждения концептуального этапа проекта начинается стадия детализированной разработки (разработка проектной и рабочей документации). Одной из ключевой задачей данного этапа является оперативная координация архитектурного облика планируемого сооружения. С целью решения задачи оперативного создания архитектурного облика было создано специализированное программное обеспечение под названием Veras. Данное ПО встроено в такие программы для проектирования как SketchUp и Revit и позволяет при помощи искусственного интеллекта генерировать реалистичное архитектурное представление объекта недвижимости напрямую из созданных информационных моделей. Ускоренный процесс создания реалистичных визуализаций при помощи Veras освобождает архитекторов и проектировщиков от рутинных ручных операций и помогает концентрироваться на творческой составляющей проектирования [3].

В современном информационном моделировании используют классификаторы элементов информационных моделей. При создании информационных моделей классификаторы выполняют ряд важных функций, направленных на повышение эффективности управления проектом и улучшение взаимодействия между всеми участниками процесса:

- обеспечение систематизации и стандартизации данных (упорядоченное хранение и обработка информации обо всех компонентах моделируемого объекта);
- интеграция данных между различными специализированными программами и специалистами;
- автоматизация многих процессов, таких как расчет смет, анализ затрат, контроль соблюдения нормативных требований и правил, а также выполнение проверок на соответствие стандартам;
- обеспечение соответствия проектов национальным и международным строительным стандартам, что является обязательным условием для получения разрешений на строительство и эксплуатацию объектов.

Отечественный программный комплекс ИМПульс, основанный на применении искусственного интеллекта, производит оперативную и качественную классификацию цифровых информационных моделей [4].

В рамках современных тенденций развития технологий автоматизированного проектирования стоит обратить внимание на инновационное направление, которое может стать альтернативой традиционным CAD/BIM-системам. Научно-технический центр «Платформа» представил роботизированную систему BIM-GPT, предназначенную для выполнения проектных работ с использованием BIM. Данная система способна принимать входные параметры, самостоятельно генерировать цифровые информационные модели и соответствующую проектную и рабочую документацию при минимальном участии проектировщиков. Ожидается, что эта разработка позволит значительно уменьшить сроки проектирования многоэтажных жилых комплексов, а также автоматизировать до 80% процессов проектирования. Однако следует отметить, что на текущем этапе разработки система BIM-GPT ограничена созданием моделей лишь однотипных конструкций, таких как одноэтажные жилые здания с одним подъездом («свечки») [5].

Внедрение искусственного интеллекта в различные этапы жизненного цикла объектов недвижимости находится на начальной стадии активного развития. Но уже в текущей обстановке можно с уверенностью утверждать, что ИИ уже стал неотъемлемым помощником при проектировании и строительстве объектов недвижимости, освобождая от рутинных задач и все больше предоставляя месту творческому процессу. Будущее использования ИИ будет зависеть от качества и методов обучения нейросетевых моделей.

В заключение следует отметить, что дальнейший прогресс цифровой трансформации жизненного цикла объектов недвижимости будет обусловлен достижениями в сфере вычислительных технологий, программных решений, автоматизации производственных процессов и интеллектуального анализа данных. Перспективное развитие цифровых технологий приведет к созданию более устойчивых и экологически рациональных инфраструктурных систем, эффективному использованию природных ресурсов и формированию комфортной городской среды, способствующей росту и развитию урбанизированных территорий.

Литература

1. Российская Федерация. Законы. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений : Федер. закон № 384-ФЗ : принят Государственной Думой 23 декабря 2009 г. : одобрен Советом Федерации 25 декабря 2009 г. : послед. ред. // КонсультантПлюс : сайт. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_95720/ (дата обращения: 17.02.2025). – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.
2. Официальный сайт Veras [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rtim.city>
3. Официальный сайт gTIM Rocket Group [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.evolveelab.io/veras>
4. Официальный сайт ИМПульс [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://impulse.spbstu.ru/>
5. Официальный сайт НТЦ «Платформа», Робот-проектировщик [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rtim.city>

КОМПЛЕКС ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЙ ДЛЯ ПРОЕКТА РЕКОНСТРУКЦИИ АРТЕЗИАНСКОГО ВОДОЗАБОРА В ПОСЕЛКЕ КАЗЁННАЯ ЗАИМКА Г. БАРНАУЛА (АЛТАЙСКИЙ КРАЙ)

Афанасьев А. Г.

**Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия
ЗАО ПИИ Алтайводпроект, Барнаул, Россия**

Обеспечение населения чистой питьевой водой является одним из важнейших показателей качества жизни, приоритетом при выборе места жительства и, следовательно, показателем социально-экономического развития территории. Не является исключением в этом вопросе п. Казенная Заимка - один из старейших (основан в 1726 г.) пригородных поселков г. Барнаула.

Основная часть инженерной инфраструктуры в Казенной Заимке построена хозяйственным способом без проведения инженерных изысканий и проектных работ. В связи с интенсивным развитием жилого фонда в настоящее время возросло и потребление воды, возникли проблемы с водоснабжением в часы максимального разбора и, особенно, в летние месяцы. Согласно утвержденному проекту планировки и межевания в качестве расчетного показателя численности населения принято – 3415 чел., в том числе: существующая застройка – 2719 чел.; проектируемая застройка – 696 чел. [5].

В связи с этим, для бесперебойного снабжения водой питьевого качества и обеспечения требований по пожаротушению планируется проведение реконструкции существующего водозабора. Предполагается бурение и обустройство двух артезианских скважин с наземными павильонами блочно-модульного исполнения, строительство станции водоподготовки, резервуаров чистой воды, насосной станции второго подъема и других вспомогательных водопроводных сооружений. Предусматривается создание зон санитарной защиты водозабора.

Материалы и методы исследования. Исходными данными для проектирования водоснабжения являются документы территориального планирования, комплексные программы развития инженерной инфраструктуры, лицензии на водопользование, утвержденные отчеты о запасах подземных вод, данные эксплуатирующих (ресурсоснабжающих) организаций о фактическом водопотреблении, данные производственного мониторинга, а также результаты проведенных инженерных изысканий. Изыскания выполняются с целью получения современных данных о природных условиях территории выбранной площадки (трассы) и факторах техногенного воздействия для:

- обоснования компоновки зданий и сооружений, принятия конструктивных и объемно-планировочных решений;
- составления прогноза развития опасных природных процессов и явлений и их воздействия на проектируемые здания и сооружения;
- принятия решений при разработке мероприятий и проектировании сооружений инженерной защиты;
- принятия решений при разработке мероприятий по охране природной среды [6].

Комплекс изысканий включает инженерно-геодезические, инженерно-геологические, инженерно-экологические и гидрометеорологические изыскания. В связи с запланированной реконструкцией существующей системы водоснабжения дополнительно выполняется техническое инструментальное обследование существующих зданий и сооружений с целью оценить возможность их дальнейшей эксплуатации.

Сведения об объекте исследования. Поселок Казенная Заимка располагается в северо-западной части г. Барнаула – административного центра Алтайского края с населением 687,6 тысяч человек [4]. Административно поселок подчинён Научногородокской сельской администрации Ленинского района города Барнаула, куда входят еще Берёзовка, Гоньба, Землянуха, Научный Городок [2].

В физико-географическом отношении г. Барнаул расположен на юго-востоке Западно-Сибирской равнины в Приобском и Верхнеобском физико-географических районах Верхнеобской провинции. Граница между ними проходит по левому берегу Оби [1].

Приобское плато – это приподнятая слабонаклоненная равнина с отметками 200–280 м, на которой расположена большая часть городского округа: значительная часть центра Барнаула, северная, западная и юго-восточная (нагорная) части города. В пределах городской черты отметки плато изменяются от 185 до 251 м. Абсолютные отметки высот 230–250 м. наблюдаются в северной приобской части города (близ склона к долине р. Оби) и в западной его части. Здесь же находится и самая высокая точка (251,6 м). Плато крутым уступом высотой до 60–70 м обрывается к долине р. Оби. В пределах территории, примыкающей к Оби, развита густая овражная и долинно-балочная сеть с глубиной среза 30–40 м, широко развиты оползневые процессы [4].

В самом поселке Казенная Заимка и на прилегающей к нему территории наблюдаются следующие природные и природно-антропогенные процессы и явления: обвально-осыпные и оползневые процессы; суффозия; средняя водная эрозия от реки Обь и реки Землянуха и ее правого притока; земли, нарушенные при недропользовании; земли, нарушенные при складировании и захоронении промышленных отходов золоотвалы ТЭЦ-2. Негативными факторами также являются ветровой режим от ТЭЦ-3, относительная близость крупнейших промышленных предприятий города, городской полигон ТБО, городские канализационные сооружения и иловые площадки выше по течению р. Обь.

Для реконструкции водозабора и строительства дополнительных водопроводных сооружений выделено два участка. В границах данных земельных участков и прилегающей территории развитие опасных процессов с учетом антропогенной нарушенности территории не выявлено.

Земельные участки находятся на северной окраине п. Казенная Заимка. С южной стороны к ним примыкает жилая застройка, в северной части простирается пустырь (бывшее стрельбище). Свободный от застройки и древесно-кустарниковой растительности пустырь тянется до самого левого берега Оби. Берег обрывистый, подмываемый, его высота над урезом воды 50 м. Наблюдается активное проявление оползневых процессов.

В границах выделенного земельного отвода отсутствуют какие-либо поверхностные водные объекты. Однако большая часть участка водозабора попадает в водоохранную зону и прибрежно-защитную полосу р. Обь, которая устанавливается в размере двухсот метров независимо от уклона берега [3], как для реки являющейся средой обитания, местами воспроизводства, нереста, нагула, миграционными путями особо ценных водных биологических ресурсов. Площадка участка водозабора ровная с уклоном от Оби в юго-западном направлении. Уклон поверхности менее 3°.

В соответствии с полученной лицензией по заявке ООО «Барнаульский водоканал» были выполнены работы по геологическому изучению подземных вод и проведена оценка запасов. Исполнитель работ – ООО «Алтайская гидрогеологическая экспедиция». Комплекс геологоразведочных работ включал в себя: бурение разведочно-эксплуатационной скважины, опытно-фильтрационные, лабораторные и камеральные работы.

Глубина залегания кровли водоносного комплекса 138 м. Суммарная вскрытая мощность 22,0 м, из них песков 12,0 м, глин 10,0 м. На участке опробованы 2 слоя песков мощностью 6,0 и 7,0 м в интервалах 138,0–144,0 м (скважина № 1п) и 153,0–160,0 м (скважина №1) соответственно.

Воды опробованных пластов напорные. Статический уровень устанавливается на глубинах 42,46–44,17 м.

Водообильность вскрытых пластов высокая, дебиты скважины при опытных откачках составили 5,9 л/с при понижении 37,41 м, удельный дебит 0,16 л/с (скважина № 1п) и 2,4 л/с при понижении 23,13 м, удельный дебит 0,1 л/с (скважина № 1). Коэффициент водопроводимости составил 210 м²/сут.

Вода пресная (444–472 мг/дм³), слабощелочная (рН 7,9–8,0), мягкая (4,9–7,1 °Ж).

Содержание большинства нормируемых микрокомпонентов не превышает предельно допустимого уровня, причем в химическом составе подземных вод не зафиксированы сколько-нибудь значимые концентрации токсичных веществ техногенного происхождения. Отмечаются повышенные концентрации железа до 0,543 мг/дм³ (1,8 ПДК) и марганца до 0,273 мг/дм³ (2,7 ПДК). Повышенные содержания вышеуказанных компонентов в подземных водах связаны с природными условиями формирования подземных вод всего Западно-Сибирского артезианского бассейна.

Используемый водоносный средне-верхнемиоценовый горизонт перекрыт с поверхности толщей суглинков мощностью 60,0 м и толщей глин суммарной мощностью 35,0 м. Прямой гидравлической связи горизонта с поверхностными водами не отмечено. Питание водоносного горизонта происходит в основном за счет подтока со стороны и в меньшей степени за счет процессов перетекания из смежных водоносных горизонтов через разделяющие водоупорные толщи.

Заключение. По состоянию на 01.12.23 г. запасы подземных вод в количестве 499,2 м³/сут оценены по категории В на 25-летний срок эксплуатации. Водоносный горизонт является надежно защищенным от поверхностного загрязнения. Качество подземных вод по основным показателям соответствует гигиеническим нормативам за исключением мутности, железа и марганца. Для доведения качества воды до питьевых стандартов рекомендуется проведение предварительной водоподготовки.

Санитарная обстановка на участке работ характеризуется отсутствием источников химического и бактериологического загрязнения. Имеются благоприятные условия для организации зоны санитарной охраны с целью предотвращения загрязнения подземных вод. Организация на местности первого пояса ЗСО разведанного водозабора на участке затруднений не вызывает.

По данным ранее выполненным инженерно-геологическим изысканиям в Казенной Заимке выявлено наличие просадочных грунтов. В связи с этим на территории строительства необходимо особое внимание уделить исследованию свойств специфических грунтов по просадочности и морозному пучению.

Негативные факторы, которые также необходимо учесть и исследовать при проведении инженерных изысканий это влияние ветрового режима территории на загрязнения атмосферными выбросами от указанных выше источников загрязнений.

Литература

1. Акимова Д.А., Капустян Л.А. Ленинский район Барнаула как социально-экономическая единица. Актуальные вопросы функционирования экономики Алтайского края: сборник статей / Министерство науки и высшего образования РФ, Алтайский государственный университет; гл. ред. Вал.В. Мищенко. – Вып. 12. – Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2020. – 200 с.
2. Барнаул. Научно-справочный атлас / В.Б. Бородаев, В.И. Булатов, В.Г. Ведухина, К.В. Воробьев, И.Н. Ершова, Т.В. Калужная, А.В. Контев, Е.П. Крупочкин, Н.Ю. Курепина, Е.В. Мардасова, К.В. Марусин, О.А. Олькова, В.С. Осьмушкин, Н.Н. Праздников, Л.Н. Пурдик, В.С. Ревякин, И.Н. Ротанова, С.А. Сущевских, Н.Ф. Харламова, А.Я. Швецов, А.А. Шибких. – Новосибирск, ФГУП «ПО Инжгеодезия» Роскартографии. – 2007. – 120 с.
3. Водный кодекс Российской Федерации [Электронный ресурс]: федер. закон от 03.06.2006 № 74-ФЗ. – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
4. Доклад «О состоянии и об охране окружающей среды городского округа - города Барнаула Алтайского края в 2023 году». – Барнаул, 2024. – 195 с.
5. Об утверждении проекта планировки и проекта межевания территории поселка Казенная Заимка городского округа – города Барнаула Алтайского края. Постановление от 15.01.2018 № 57. Электр. ресурс URL: <https://barناول.org/pravoportal/portal/mpa/city/postanovlenie-ot-15-01-2018-57-ob-utverzhenii-proekta-planirovki-i-proekta-mezhevaniya-territorii-p/?ysclid=m7jlohqmay180261813> (дата обращения 26.09.2024) СП 47.13330.2016 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200084712>.

КИНЕТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ГИДРАТООБРАЗОВАНИЯ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА В ЗАСОЛЕННЫХ ПОРИСТЫХ СРЕДАХ

Бубнова А.Р., Калачева Л.П., Иванова И.К., Портнягин А.С., Иванов В.К.

Научный руководитель к.х.н. Л.П. Калачева

**Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр Сибирского отделения
Российской академии наук» – обособленное подразделение Института проблем нефти и газа
Сибирского отделения Российской академии наук, г. Якутск, Россия**

В настоящее время одной из глобальных проблем человечества является выделение парниковых газов (водяной пар, углекислый газ, метан, окись азота, озон и др.) в атмосферу, что приводит к возникновению парникового эффекта. Увеличение температуры у поверхности Земли может спровоцировать таяние ледников и многолетнемерзлых грунтов. В связи с этим, в Российской Федерации подписан Федеральный закон от 02.07.2021 г. N 296-ФЗ «Об ограничении выбросов парниковых газов», согласно которому предполагается сокращение выбросов этих газов на 30% к 2030 году. Одним из эффективных технологий утилизации парниковых газов является их захоронение в гидратном состоянии в подходящих для этого геологических формациях [1]. На территории Республики Саха (Якутия) в качестве перспективных структур рассматриваются подмерзлотные водоносные горизонты Вилюйской синеклизы, термодинамические условия которых способствуют переходу углекислого газа в гидратное состояние при его закачке в пласты. В пределах синеклизы распространены подземные воды хлоридно-кальциевого (натриевая и кальциевая подгруппы) и гидрокарбонатно-натриевого генетических типов [2].

Целью работы является изучение кинетических закономерностей образования и разложения гидратов диоксида углерода в зависимости от состава и минерализации порового раствора.

Объектами изучения являются гидраты диоксида углерода (CO_2), которые были получены в поровом пространстве в присутствии дистиллированной воды и водных растворов хлорида (NaCl) и гидрокарбоната натрия (NaHCO_3), концентрации которых соответствуют минерализации пластовых вод Вилуйской синеклизы.

Методом дифференциального термического анализа были изучены фазовые превращения при разных начальных давлениях в следующих системах: 1 – « CO_2 – песок – вода»; 2 – « CO_2 – песок – 2 % NaHCO_3 »; 3 – « CO_2 – песок – 5 % NaCl ».

Количество газа (Δn , моль), поглощенного в процессе образования гидрата; количество газа, поглощенного 1 моль воды (N , моль/моль); скорость гидратообразования (dN/dt , моль/с) и степень превращения воды в гидрат (W_h , %) рассчитывали по формулам, приведенным в [8]. Гидратное число n для гидрата диоксида углерода было принято равным 6 [3].

Кинетические параметры гидратообразования диоксида углерода в исследованных системах в зависимости от начального давления приведены в табл. 1. Установлено, что с увеличением давления количество молей поглощенного CO_2 возрастает, однако с увеличением концентрации растворов солей наблюдается закономерное снижение его поглощения. Этот эффект обусловлен высаливающим действием растворов электролитов, препятствующим растворению диоксида углерода [10, 7, 6].

Таблица 1

Кинетические параметры гидратообразования диоксида углерода в различных системах

Система	p , МПа	$\Delta n \cdot 10^{-2}$, моль	W_h , %	$N \cdot 10^{-2}$, моль/моль	$dN/dt \cdot 10^{-6}$, моль/с
1	2,56	2,70	17,13	2,86	3,09
	2,63	1,65	10,46	1,74	3,23
	3,66	4,11	26,08	4,35	4,38
	3,89	4,20	26,57	4,44	7,81
	4,08	4,92	31,25	5,21	7,71
	4,32	8,28	52,62	8,77	8,45
2	1,93	1,26	8,17	1,34	2,77
	2,97	2,48	16,08	2,63	2,64
	3,56	2,61	16,92	2,77	2,48
	4,04	5,87	38,03	6,23	12,88
3	2,06	0,64	4,25	0,71	1,30
	2,59	0,89	5,97	1,00	0,82
	2,99	1,30	8,68	1,45	3,37
	3,58	1,58	10,55	1,76	6,1

Процесс образования гидрата CO_2 во влажном песке характеризуется более высокой степенью превращения воды в гидрат по сравнению с засоленными средами. Основным фактором, определяющим степень гидратообразования в засоленных песках, является концентрация растворов солей. Степень превращения воды в гидрат постепенно снижается в ряду: вода > 2 % NaHCO_3 > 5 % NaCl , что согласуется с литературными данными.

Скорость гидратообразования в исследованных системах увеличивается с ростом начального давления. На начальном этапе процесса наблюдается максимальная скорость гидратообразования, которая снижается при увеличении концентрации растворов солей. Однако, в системе с 2 % NaHCO_3 при давлении выше 4 МПа скорость гидратообразования несколько выше по сравнению с этим процессом во влажном песке. Полученные данные согласуются с результатами предыдущих исследований [8, 9].

Стабильность гидратов диоксида углерода оценивалась согласно методикам [4, 5], результаты приведены в табл. 2. Расчет степени разложения и скорости диссоциации гидратов ($v_{\text{ср}}$), определяемой как обратная величина времени разложения 50 % гидратов ($\tau_{1/2}$), проводили по методике [5]. Выявлено, что с увеличением концентрации растворов объем газа (V_{max}), выделяющегося при разложении гидратов, закономерно снижается. Зависимость степени разложения гидратов от времени описана полиномами четвертой степени (достоверность аппроксимации $R^2 > 99\%$). По этим моделям определены времена полуразложения ($\tau_{1/2}$) и рассчитаны средние скорости разложения гидратов в пористых средах.

Таблица 2

Кинетические параметры разложения гидратов диоксида углерода

Система	V_{max} , мл	R^2	$\tau_{1/2}$, мин	$v_{\text{ср}}$, %/мин
« CO_2 – песок – вода»	8764	0,9996	7,92	6,3
« CO_2 – песок – 2 % NaHCO_3 »	7469	1,0000	5,46	9,1
« CO_2 – песок – 5 % NaCl »	692	0,9998	0,40	125,0

Средние скорости разложения гидратов возрастают в ряду: вода < 2 % NaHCO_3 < 5 % NaCl . Сравнение стабильности гидратов диоксида углерода в различных пористых средах показывает, что гидраты, полученные

во влажной и засоленных растворами гидрокарбоната натрия пористых средах, имеют близкие значения времени полураспада, тогда как присутствие хлорида натрия значительно снижает их устойчивость.

С точки зрения геологического хранения диоксида углерода установлено, что гидраты CO_2 будут наиболее стабильными в подмерзлотных водоносных горизонтах с пресными или гидрокарбонатно-натриевыми водами, что повышает их перспективность для длительного хранения углекислого газа.

Работа выполнена в рамках Госзадания Минобрнауки РФ (Рег. № 122011100157-5) с использованием научного оборудования ЦКП ФИЦ ЯНЦ СО РАН.

Литература

1. Оценка возможности захоронения углекислого газа в криолитозоне Западной Сибири [Текст] / А.Д. Дучков, Л.С. Соколова, Д.Е. Аюнов, М.Е. Пермяков // Криосфера Земли. – 2009. – Т. 13. – № 4. – С. 62–68.
2. Зорькин Л.М. Воды нефтяных и газовых месторождений СССР [Текст]: Справочник / под ред. Л. М. Зорькина. – М.: Недра, 1989. – 382 с.
3. Истомин В.А., Якушев В.С. Газовые гидраты в природных условиях [Текст] / В. А. Истомин, В. С. Якушев – М.: Недра, 1992. – 236 с.
4. Калачева Л.П. Свойства гидратов природного газа, полученных в модельных растворах гидрокарбонатно-натриевого типа [Текст] / Л.П. Калачева, А.С. Портнягин // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2017. – № 10-2. – С. 196-200.
5. Мельников В.П. Диссоциация газовых гидратов при атмосферном давлении [Текст] / В.П. Мельников, А.Н. Нестеров, А.М. Решетников // Газовая промышленность. – 2006. – № 5. – С. 55-61.
6. Намиот А.Ю. Растворимость газов в воде [Текст] / А.Ю. Намиот. – М.: Недра, 1991. – 167 с.
7. Han X. Measurement and Correlation of Solubility Data for CO_2 in NaHCO_3 Aqueous Solution [Text] / X. Han, Zh. Yu, J. Qu, T. Qi, W. Guo, G. Zhang // J. Chem. Eng. Data. – 2011. – V. 56. – P. 1213–1219. <https://dx.doi.org/10.1021/jc1011168>.
8. Linga P. Enhanced rate of gas hydrate formation in a fixed bed column filled with sand compared to a stirred vessel [Text] / P. Linga, N. Daraboina, J.A. Ripmeester, P. Englezos // Chemical Engineering Science. – 2012. – V. 68. – P. 617–623.
9. Sun D. Storage of CO_2 in a partially water saturated porous medium at gas hydrate formation conditions [Text] / D. Sun, P. Englezos // International journal of greenhouse gas control. – 2014. – V. 25. – P. 1-8.
10. Wong C.S., Tishchenko P.Y., Johnson W. K. Solubility of carbon dioxide in aqueous HCl and NaHCO_3 solutions from 278 to 298 K [Text] / C.S. Wong, P.Y. Tishchenko, W.K. Johnson // Journal of Chemical & Engineering Data. – 2005. – V. 50. – № 3. – P. 817-821.

ПРОЕКТ ЗОНЫ САНИТАРНОЙ ОХРАНЫ ВОДОЗАБОРНЫХ СКВАЖИН ПОДЗЕМНЫХ ИСТОЧНИКОВ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Варламова И.Д.

Научный руководитель старший преподаватель Перегудина Е.В.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Зона санитарной охраны (ЗСО) – это особая территория, окружающая источник водоснабжения, где установлены строгие правила поведения для защиты водоема и прилегающей местности от загрязнений [4]. Главной задачей создания и поддержания режима в зонах санитарной охраны является защита источников водоснабжения и водопроводных сооружений от загрязнения, а также охрана территорий, на которых они находятся [5].

Район работ расположен в пределах Томь-Колыванского бассейна корово-блоковых трещинных вод. В пределах участка водозаборными скважинами эксплуатируется водоносный горизонт нижне-среднемиоценовых терригенных отложений болотнинской свиты (N1bI). Добыча подземных вод осуществляется из водоносных отложений олигоценного возраста. В соответствии с СанПиН 2.1.4.1110-02 [5] подземные воды изучаемого участка недр относятся к защищенным от поверхностного загрязнения, они имеют напорный режим фильтрации и кровлей их являются водопроницаемые породы, имеющие значительную мощность (45-50 м).

Анализ материалов качественного состава подземных вод района работ свидетельствуют о том, что по своим физическим и бактериологическим свойствам воды отвечают нормативным требованиям. Величина минерализации проб не более $0,6 \text{ г/дм}^3$. Сульфаты в подземных водах присутствуют в количестве от $4,2$ до $5,3 \text{ мг/дм}^3$. Катионы представлены в нормативных значениях. По величине общей жесткости (классификация О.А. Алекина) [1] подземные воды скважин относятся к умеренно жестким (величина жесткости находится в пределах от $3,1$ до $4,9 \text{ мг-экв/л}$).

По радиологическим показателям подземная вода по результатам измерений суммарной альфа и бета – активности признана соответствующей требованиям СанПиН 2.1.3684-21 [6], СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)» [7].

Согласно протоколам радиологического исследования выявлено превышение по удельной активности радона 222, но согласно СанПиН 2.6.1.2523-09 [7] «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)» эти пробы соответствуют требованиям.

Для определения границ зоны ЗСО первого пояса проводится оценка защищенности грунтовых вод методом В.М. Гольдберга [3]. По результатам оценки время миграции загрязняющих веществ через слои зоны аэрации по методу В.М. Гольдберга составило 15287 суток (48,88 лет) для скважины №Х, 15647 суток (42,86 лет) для скважины №У и 10626 суток (29,11 лет) для скважины №Z. Это означает, что для загрязняющих веществ потребуется от 29 до 48 лет, чтобы пройти через все слои зоны аэрации и достичь других слоев. Для подтверждения

защищенности подземного водозабора была проведена оценка возможного антропогенного воздействия на водозабор скважин № X, № Y и № Z. В радиусе 3188 м источников антропогенного загрязнения не выявлено.

Для второго и третьего поясов ЗСО расчет произведен аналитическим методом согласно «Рекомендациям Всесоюзного научно-исследовательского института ВОДГЕО (ВНИИ ВОДГЕО) по гидрогеологическим расчетам для определения границ 2-го и 3-го поясов зон санитарной охраны» [2]. Результаты расчетов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Расчетные размеры 2-го и 3-го поясов зон санитарной охраны скважин

Номер скважины	Вверх по потоку (R, м)	Вниз по потоку (r, м)	Общая длина (L, м)	Ширина области захвата (м)
Второй пояс ЗСО				
№ X	16,70	16,7	33,40	17
№ Y	18,1	18,1	36,2	18
№ Z	21,1	21,05	42,15	21
Третий пояс ЗСО				
№ X	113,035	112,79	225,825	113
№ Y	122,31	122,07	244,38	122
№ Z	142,47	142,23	284,7	142

Так как расчетные размеры 2-ого пояса ЗСО для скважин № X (33,4 x 17), № Y (36,2 x 18) и № Z (42,15 x 21) входят в границы 1-ого пояса ЗСО, предложено объединить первый и второй пояса ЗСО для скважин № X, № Y, № Z и установить размер 90 x 360 м.

Также предложено объединить границы третьего пояса ЗСО для групп скважин № X, № Y и № Z, так как границы третьего пояса ЗСО для каждой из скважин № Y и № Z пересекаются друг с другом, а расстояние между границами скважин № X, № Y меньше 30 метров.

На рис. 1 представлено графическое отображение плана границ ЗСО 1-го, 2-го и 3-го поясов.

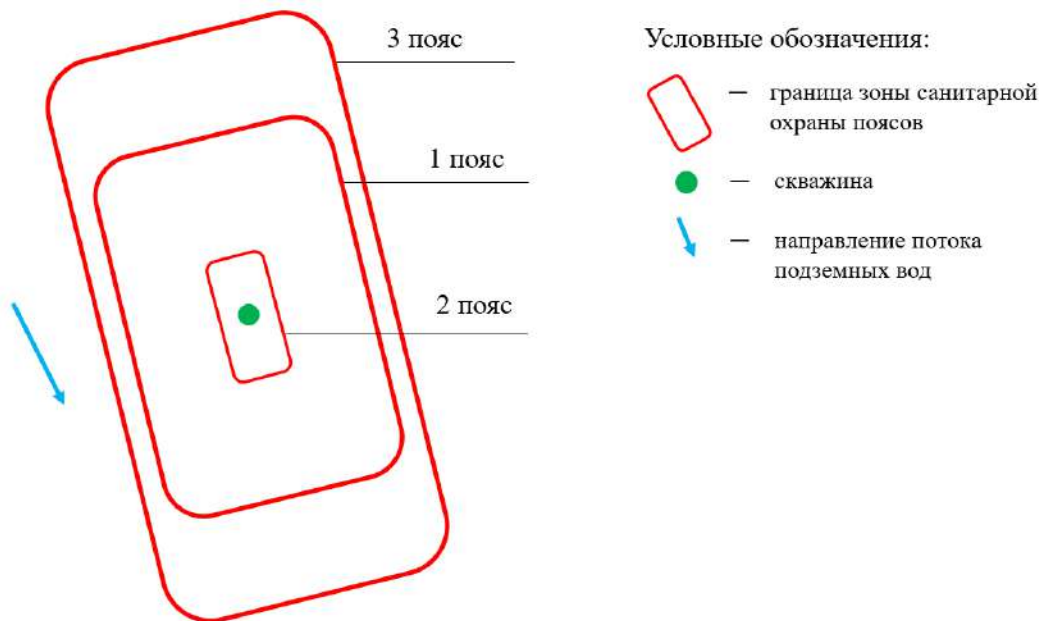


Рис. 1. Схематическое отображение плана границ поясов ЗСО

Литература

1. Водоподготовка [Электронный ресурс]: учеб. пособие / сост. Е.А. Хорякова, Я.Е. Резник. – 1 компьютерный файл (pdf; 4 475 KB). – Москва: Изд-во «Аква-Терм», 2007. – Заглавие с титульного экрана. – Доступ из сети интернет, схема доступа: https://wfilter.ru/books/vodopodgotovka-belikov_2007.pdf.
2. Рекомендации по гидрогеологическим расчетам для определения границ 2 и 3 поясов зон санитарной охраны подземных источников хозяйственно-питьевого водоснабжения [Электронный ресурс]: учеб. пособие / сост. Н.Н. Лаптин, А.Е. Орадовская. – 1 компьютерный файл (pdf; 3 375 KB). Москва: Изд-во Всесоюзный научно-исследовательский институт водоснабжения, канализации, гидротехнических сооружений и инженерной гидрогеологии, 1983. Заглавие с титульного экрана. – Доступ из сети интернет, схема доступа: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293830/4293830113.pdf>.
3. Официальный сайт Расчета защищенности грунтовых вод [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://zso.ansdimat.com/5_Vulnerability.html.
4. Официальный сайт Управления Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://12.rospotrebnadzor.ru/news/-/asset_publisher/bYv0/content/.

5. О введении в действие санитарных правил и норм «Зоны санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов питьевого назначения. СанПиН 2.1.4.1110-02» (вместе с «СанПиН 2.1.4.1110-02. 2.1.4. Питьевая вода и водоснабжение населенных мест. Зоны санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов питьевого назначения. Санитарные правила и нормы») [Электронный ресурс]: Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 14 марта 2002 г. № 10 (ред. от 25.09.2014). – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
6. СанПиН 2.1.3684-21. Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению населения, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/573536177>.
7. СанПиН 2.6.1.2523-09. Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/902170553>.

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСНОГО АНАЛИЗА ПРИ ОЦЕНКЕ ВЛИЯНИЯ НЕОТЕКТЕНИЧЕСКИХ СТРУКТУР НА ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ТРОСТЕНСКОЙ ВПАДИНЫ (МОСКОВСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Глухова С.А.

Научный руководитель профессор Н.А. Харитонов

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

Гидрогеологические условия формируются под воздействием различных факторов, один из которых является тектонический. Проявление тектонического фактора может привести к изменению характера и условий залегания гидрогеологических подразделений и, таким образом, оказать влияние на направление движения и формирование химического состава подземных вод, а также взаимоотношение смежных водоносных горизонтов. Для оценки влияния тектонических структур на гидрогеологические условия важно использовать комплексный анализ, включающий различные методы гидрогеологических исследований, а также междисциплинарный подход.

На основании проведения морфоструктурного и геолого-структурного анализов на западе Московской области выделена современная тектоническая структура – Тростенская впадина [1]. Структура характеризуется относительно пониженным современным рельефом и высокой заболоченностью. Ограничение впадины разрывными нарушениями, Z-образная форма, кулисообразное строение и асимметрия бортов указывают на то, что впадина образована в условиях сдвига, развитого в каменноугольных отложениях, и является структурой присдвигового раздвига. Особенностью подобных структур является наличие области разрушения, сформированной над сдвигом [3].

По гидрогеологическим условиям район исследования приурочен к центральной части Московского артезианского бассейна. В пределах области развития Тростенской впадины напорный подольско-мячковский водоносный комплекс ($C_{2pd}-mc$) отделен от вышележащего комплекса четвертичных отложений (Q_{I-IV}), содержащего безнапорные воды, регионально распространенной келловей-киммериджской слабопроницаемой толщей ($J_2-zk-km$). При этом взаимосвязь каменноугольного и четвертичного водоносных комплексов определяется степенью сплошности и фильтрационными свойствами келловей-киммериджской слабопроницаемой толщи. Развитие области разрушения над сдвигом в каменноугольных отложениях может привести к образованию области повышенной проницаемости, гидрогеологического окна, за счет чего возможно изменение условий взаимосвязи четвертичного и подольско-мячковского водоносных комплексов. Оценка влияния Тростенской впадины на гидрогеологические условия выполнена на основании комплексного анализа, включающего морфоструктурный и геолого-структурный анализы, изучение уровня поверхности смежных водоносных горизонтов и комплексов, проведение гидрогеохимического опробования и изучение химического и изотопного состава подземных вод, а также разработку имитационной гидрогеологической модели.

Результаты ранее проведенных исследований [1] показали, что в области развития структуры сформирована куполообразная пьезометрическая поверхность подольско-мячковского водоносного комплекса. На основании разработки имитационной модели установлено, что образование купола возможно только за счет перетока подземных вод из вышележащего комплекса четвертичных отложений через гидрогеологическое окно в келловей-киммериджской слабопроницаемой толще, образованное за счет тектонического фактора.

По данным гидрогеохимического опробования подземные воды подольско-мячковского водоносного комплекса в центральной части Тростенской впадины и север-северо-западнее нее характеризуются относительно повышенной минерализацией и более высоким содержанием гидрокарбонатов и кальция, по сравнению с подземными водами, распространенными в периферийных частях. На основании анализа содержания микрокомпонентов в подземных водах подольско-мячковского водоносного комплекса можно отметить, что по ряду компонентов наблюдается относительно повышенное содержание в центральной части района исследования по сравнению с периферией. Так, например, содержание стронция в центральной части района исследования составляет 567–746 мкг/л, в северо-западной и южной части отмечается относительно низкое содержание стронция 148–398 мкг/л. Относительно повышенное значение зафиксировано на северо-западе в районе г. Истра (1323 мкг/л). Подобная закономерность распределения характерна также для рубидия. Содержание скандия в центральной части, в области развития Тростенской впадины, составляет до 0,063–0,073 мкг/л, на остальной части района исследования 0,023–0,059 мкг/л (рис. 1). Содержание бария в центральной и северо-западной части района исследования составляет 160–211 мкг/л, на остальной части района – 61–127 мкг/л. Подобная закономерность распределения характерна также для самария и гадолиния [2].

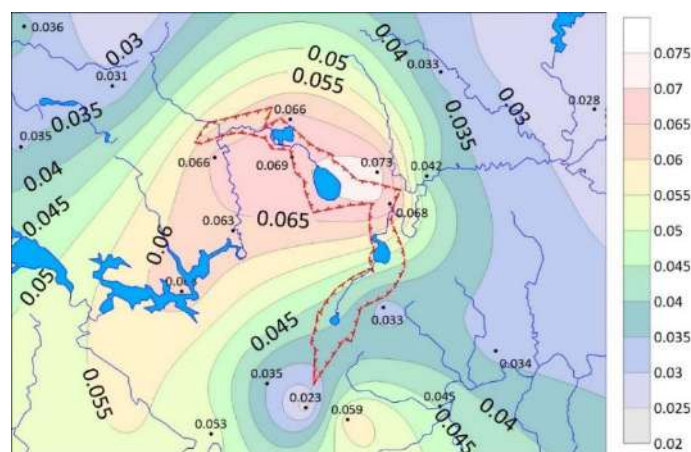


Рис. 1. Содержание скандия (в мг/л) в подземных водах подольско-мячковского водоносного комплекса в пределах района исследования

Результаты анализа изотопного состава показывают, что в северной части Тростенской впадины и северо-западнее подземные воды подольско-мячковского водоносного комплекса воды характеризуются более тяжелым изотопным составом, чем на прилегающей территории. Значение $\delta^{18}\text{O}$ в пределах области исследования изменяется от -12,91 до -11,64 ‰, в северной части Тростенской впадины (-11,64...-11,70 ‰) и северо-западнее ее (-11,65...-11,79 ‰). Для распределения значений $\delta^2\text{H}$ и $\delta^{17}\text{O}$ отмечена подобная $\delta^{18}\text{O}$ закономерность. Облегчение изотопного состава происходит в соответствии с направлением движения подземных вод (на юг к р. Москва и на восток, юго-восток к г. Истра, г. Москва). Наибольшая разница в изотопном составе подземных вод между подольско-мячковским и четвертичным водоносным комплексом отмечается в периферийной части области исследования, а близкий состав – в районе развития Тростенской впадины и северо-западнее нее. Образование вод подольско-мячковского комплекса с более тяжелым составом в области развития тектонической структуры возможно за счет поступления вод из четвертичного водоносного комплекса через гидрогеологическое окно в келловей-кимериджской слабопроницаемой толще. В то время как на периферии поступление подземных вод из четвертичного комплекса через слабопроницаемую толщу затруднено [2].

Таким образом, применение комплексного анализа позволило выявить и охарактеризовать строение современной тектонической структуры, оценить ее влияние на уровенную поверхность и взаимоотношение смежных водоносных комплексов, а также на особенности формирования химического и изотопного состава подземных вод. Выполненный комплексный анализ позволил установить, что Тростенская впадина является местной областью питания подземных вод подольско-мячковского водоносного комплекса (рис. 2). За счет влияния тектонического фактора сформирована область повышенной проницаемости, гидрогеологическое окно, через которое происходит поступление подземных вод из вышезалегающего четвертичного водоносного комплекса через келловей-кимериджскую слабопроницаемую толщу.

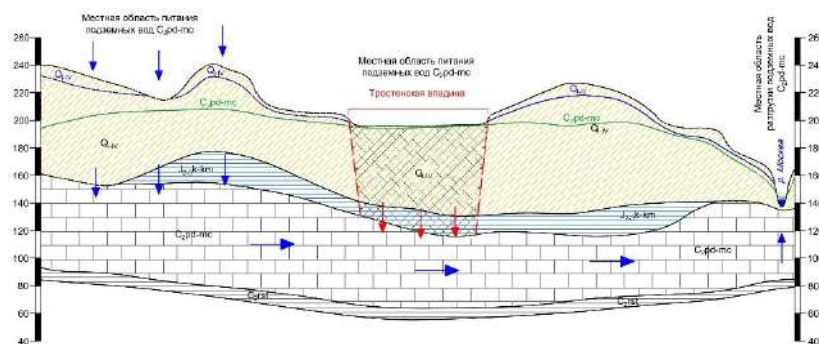


Рис. 2. Концептуальная схема формирования подземных вод в области развития Тростенской впадины

Литература

1. Глухова С.А. Роль присдвиговых структур растяжения в субвертикальной фильтрации водонапорной системы Московского артезианского бассейна [Текст] / С.А. Глухова, О.В. Пинигин, А.В. Расторгуев // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. – 2023. – № 1. – С. 97-109.
2. Глухова С.А. Изотопно-химический состав подземных вод в районе развития новейшей тектонической структуры (Московская область) [Текст] / С.А. Глухова, Н.А. Харитоновна // Сергеевские чтения. Региональная инженерная геология и геоэкология. Выпуск 25. Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (28-29 марта 2024 г.). – Москва: Издательство «Геоинфо», 2024. – С. 139-141.

3. Сим Л.А. Разломы осадочного чехла платформ и методы их исследования [Текст] / Л.А. Сим, А.В. Михайлова // Проблемы тектонофизики: к сорокалетию создания М.В. Гзовским лаборатории тектонофизики в ИФЗ РАН. – М: Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, 2008. – С. 141-148.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ЗОНЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ МАГИСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДА (КРАСНОЯРСКИЙ КРАЙ, ГОРОД НОРИЛЬСК)

Горячих Д.С.

Научный руководитель профессор Л.А. Строкова

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Актуальность данной работы обусловлена необходимостью обеспечения безопасной и надежной эксплуатации магистральных газопроводов в экстремальных геологических и климатических условиях района Норильска, где влияние вечной мерзлоты и криогенных процессов создает повышенные риски деформаций и аварий.

Целью исследования является комплексное изучение геологических процессов в зоне прохождения магистрального газопровода в районе Норильска

Для строительства магистрального газопровода было выбрано месторождение, примыкающие к южным границам г. Норильск, расположенному в Таймырском Долгано-Ненецком районе, Красноярского края. Территория отличается крайне суровым климатом субарктического типа. Район изысканий находится в высоких широтах за полярным кругом (69° с.ш.), в 340 км от побережья Енисейского залива Карского моря в зоне перехода от морского к умеренно-континентальному климату. Согласно климатическому районированию (ГОСТ 16350-80), макроклиматический район характеризуется как холодный, относящийся к климатическому району – очень холодный П, с продолжительной суровой зимой и коротким прохладным летом.

Многолетняя средняя годовая температура воздуха на исследуемой территории отрицательная и составляет минус 9,8 °С. Сезонность климата выражена достаточно четко: средняя температура июля (самого теплого месяца) составляет плюс 13,7 °С, а января (самого холодного месяца) – минус 28,2 °С. Годовая амплитуда среднемесячных температур составляет 40–41 °С. Абсолютный максимум температуры на исследуемой территории плюс 32 °С, а абсолютный минимум – минус 57 °С. Расчётные температуры наиболее холодной пятидневки (по данным м/с Норильск за 1961–2024 гг.) обеспеченностью 0,92 – минус 46,6 °С, обеспеченностью 0,98 – минус 48,5 °С. Расчётные температуры наиболее холодных суток (по данным 1961-2024 гг.) обеспеченностью 0,92 – минус 49,3 °С, обеспеченностью 0,98 – минус 51,5 °С. Расчётные температуры теплого периода (по данным м/с Норильск за 1961–2024 гг.) обеспеченностью 0,95–16,2 °С, обеспеченностью 0,98–19,5 °С, обеспеченностью 0,99–21,4 °С.

В пределах размещения проектируемого газопровода, в результате более детального изучения, были выявлены криогенные и эрозионные процессы, оказывающие существенное влияние на стабильность грунтов. Криогенные процессы представлены такими явлениями, как морозобойное растрескивание, термокарст и криогенное пучение глинистых грунтов, характерными для районов с вечной мерзлотой. Абразионные и водно-балансовые процессы проявляются в виде термоэрозии, заболачивания территории и речной эрозии. Кроме того, в таликовых зонах также наблюдаются пучинные свойства глинистых грунтов, что может стать дополнительным фактором риска для деформации трубопровода.

Морозобойное растрескивание – это процесс температурной деформации мерзлых пород в изменяющемся градиентном температурном поле. Трещины возникают на поверхности, проникают вглубь массива и в плане образуют трещинно-полигональный рельеф. Потенциальная площадная пораженность территории процессом растрескивания составляет приблизительно 6,12 %.

Термокарстовые процессы. К неблагоприятным процессам криогенного происхождения относится широкое развитие термокарстовых и гляциокарстовых процессов. Потенциальная площадная пораженность территории термокарстовым процессом составляет приблизительно 6,15 %. Согласно СП 115.13330-2016 [1] термокарстовый процесс на данной территории по категории опасности является умеренно опасным.

Криогенное пучение. На участках развития торфяников и глинистых грунтов с повышенной льдистостью и наличием прослоев льда формируются различные по форме и размерам многолетние бугры пучения. На всей исследуемой территории прослеживаются локальные небольшие по площади бугры высотой до 0,5–1,5 м, диаметром около 25–30 м.

Морозное пучение. На территории распространения многолетнемерзлых отложений грунты, залегающие в слое сезонного оттаивания, подвержены процессам морозного пучения, сопровождающегося зачастую растрескиванием приповерхностной части разреза. Потенциальная площадная пораженность территории процессом морозного пучения составляет приблизительно 33 %. Согласно СП 115.13330-2016 [1] процесс морозного пучения на данной территории по категории опасности является опасным.

Эрозионные процессы связаны с развитием гидросети района изысканий и ведут к разрушению берегов и перестройке русел, приурочены к руслам рек и ручьев, временным ложбинам стока. Обычно боковая эрозия берегов происходит за счет морозобойного растрескивания, и воздействия ледовых масс в период половодья. Площадная пораженность территории эрозионными процессами составляет менее 1 %. Согласно СП 115.13330-2016 [1] процесс эрозии на данной территории по категории опасности является умеренно опасным.

Процесс заболачивания, т. е. формирования избыточно увлажненных участков суши, покрытых специфической болотной растительностью, развит в пределах торфяно-болотных систем и по периферии озерных котловин. Площадная пораженность территории процессами заболачивания составляет приблизительно 1,08 %.

Процесс наледообразования. Вероятность образования наледей в створах пересечения ложбин с подъездной автодорогой отсутствует, поскольку участок прохождения трассы расположен на равнинной местности, для которой вероятность наледей крайне низка. Площадная пораженность территории процессами наледообразования составляет менее 1 %. Согласно СП 115.13330-2016 [1] процесс наледообразования на данной территории по категории опасности является умеренно опасным.

Наряду с вышеперечисленным, необходимо учитывать и сейсмическую активность региона. В соответствии с СП 14.13330.2011 [2] для объектов повышенной ответственности, интенсивность землетрясения на территории проектируемого объекта составляет 5 (пять) баллов. Согласно приложению Б СНиП 22-01-95 [3], категория опасности процессов по интенсивности землетрясения определена как умеренно опасная.

Проведенное комплексное исследование геологических процессов в зоне прохождения магистрального газопровода в районе Норильска позволило выявить ключевые факторы, влияющие на его стабильность и безопасность. Полученные результаты подчеркивают необходимость постоянного мониторинга и учета влияния экстремальных природных условий при эксплуатации газопроводной инфраструктуры в арктических регионах.

Литература

1. СП 115.13330-2016. Магистральные трубопроводы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.06-85*. Москва: Минстрой России, 2016. 107 с.
2. СП 14.13330.2011. Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81*. Москва: Минрегион России, 2011. 113 с.
3. СНиП 22-01-95. Геофизика опасных природных воздействий. Москва: Минстрой России, 1995. 72 с.

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕЛИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ГЕРМЕТИЧНОСТИ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ ПОДЗЕМНЫХ ГАЗОВЫХ ХРАНИЛИЩ (НА ПРИМЕРЕ ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ МОЛДОВА)

Гроза А.Н.¹

Научный руководитель д. г.- м.н. Морару К.Е.

Институт геологии и сейсмологии МГУ, г. Кишинёв, Республика Молдова

Целью настоящих исследований является описание опыта применения гелия (He) для оценки разломно-тектонической герметичности планируемой геологической среды в качестве резервуара для подземного газового хранилища. Гелий в силу своей инертности и химической пассивности свободно мигрирует в земной коре. Индикаторные способности гелия в качестве трассера тектонических разломов подтверждены научным открытием Еремеева А.Н. [3], а также многочисленными научными работами, как например [5, 8, 10, 11].

Территория исследований площадью 625 км² расположена в пределах Республики Молдова. На этой площади выявлены геолого-гидрогеологические структуры, которые потенциально пригодны для создания подземных газовых хранилищ. Данная территория покрыта различными геологическими и гидрогеологическими съемками (1: 200 000 и 1:50 000), геофизическими съемками различного масштаба (гравиметрическая, магнитная, электрическая и сейсмическая), проведенными в разные периоды времени Агентством по геологии и полезным ископаемым Молдовы, и пробурены около 100 разведочных и эксплуатационных скважин различных глубин.

Для данной работы использованы результаты водно-гелиевых исследований для всего изученного гидрогеологического разреза исследованной площади [5], а также неопубликованные данные по определению гелия в природных газах, собранные во время буровых работ [7]. Концентрация гелия в подземных водах определялась магниторазрядным индикатором ИНГЕМ-1 [9]. Эталонном для прибора ИНГЕМ-1 служит азотно-гелиевая смесь под давлением 90 атм., с контрольной концентрацией гелия $270 \cdot 10^{-5}$ мл/л. Данные по гелию интерпретировались и обрабатывались по методологии [5, 9].

Геологический разрез исследуемой территории состоит из пород кристаллического протерозойского фундамента (гранито-гнейсы), расположен на осредненных отметках около 1100.0 м от дневной поверхности. На фундаменте залегают осадочные и метаморфические породы (снизу вверх) кембрия – ордовика (?) в интервале 820.0–1100.0 м (преимущественно пестро цветные алевролиты), силура в интервале 450.0–820.0 м (в основном доломитизированные известняки), мела в интервале 390.0–450.0 м (переслаивание конгломератов, известняков и песчаников) и неогена в интервале 0.0–390.0 м (пески, глины песчаные, глинистые известняки и прослои доломитов). Все стратиграфические подразделения содержат подземные воды, которые объединены в водоносные горизонты и комплексы. Подземные воды напорные и величина напора увеличивается экспоненциально с глубиной от 5.0–10.0 м до 900.0 и более метров. Дебит скважин колеблется в интервале 10.0–300.0 м³/сут. Минерализация подземных вод также зависит от глубины залегания горизонта и экспоненциально растет от несколько г/л до 60.0 г/л и более, при этом состав изменяется от HCO₃-Na-Mg до Cl-Na (Ca)-Mg. Температура подземных вод плавно растет с глубиной от 12–14 °C до 60 °C.

Выделены 3 антиклинальные структуры, предполагаемые в качестве резервуаров для подземных газовых хранилищ. Они расположены на глубинах 550.0–1000.0 м. Одно из главных условий для таких хранилищ является их относительная герметичность. Отсутствие тектонических разломов, пересекающих антиклинали, свидетельствует о целостности структур. Наличие или отсутствие разломов оценивалось разными методами [6], которые включали выделение разломов по осевым линиям гелиевых, гравитационных, магнитных аномалий, разрывные нарушения, установленные по данным бурения и разрывные нарушения, установленные геоморфологическими методами.

Наиболее однозначные результаты получены по гелиометрическим данным. Путем статистической обработки определены фоновые ($< 200 \times 10^{-5}$ мл/л) и аномальные содержания ($> 200 \times 10^{-5}$ мл/л) гелия. Учтено, что содержание гелия обратно пропорционально квадрату расстояния до кристаллического фундамента, т. е. растет закономерно с глубиной [9]. Это связано с тем, что кристаллические породы содержат радиоактивные элементы (гелий производящие) примерно в 40 раз больше по сравнению с осадочными и метаморфическими породами [8, 9]. Тектонические разломы выделяются по осевым линиям цепочных гелиевых аномалий. Жесткие, без разломов блоки, выделяются в случае формирования больших полей гелия [1, 2].

Анализ суммарной карты поля гелия, растворенного в подземных водах, исследуемой территории позволяет выявить следующее: в пределах изученной территории отсутствуют тектонические разломы, и данная площадь характеризуется аномальными и площадными содержаниями гелия до 1500.0×10^{-5} мл/л.

В результате проведенных исследований приведена характеристика и выявлены особенности распространения водорастворенного в подземных водах гелия в пределах площади приемлемой для поиска структур для подземных газовых хранилищ. Эта площадь не пересечена тектоническими разломами и наличие площадной аномалии гелия указывает, что выбранные антиклинальные структуры геологически герметичны.

Исследования были выполнены при финансовой поддержке Государственной программы научных исследований Республики Молдова, код 010902 по теме «Комплексные геолого-гидрогеологические и геохимические исследования с целью выявления участков для подземного хранения природных газов в центрально-западной части Республики Молдова (теория, методология и технико-экономическое обоснование)».

Литература

1. Бобринский В.М., Макареску В.С., Морару К.Е. Отражение разрывных нарушений в гелиевом, макросейсмическом и гидрогеохимическом полях Молдавии // ДАН СССР – 1986. – Т. 228. – № 5. – С. 1181-1186
2. Бобринский В.М., Макареску В.С., Морару К.Е. Тектонические факторы, определяющие строение гелиевого макросейсмического и гидрогеохимического полей Молдавии // Геотектоника – 1987. – № 3. – С. 150-160.
3. Еремеев А.Н. и др. Закономерности распределения концентрации гелия в земной коре // Бюлл. изобр. и отк. 1969 – № 35 – С. 1.
4. Левина Л.Е. и др. Измерительная аппаратура для анализа гелия при геологических исследованиях // Экспресс информация ВИЭМС, – сер. 10, – вып. 1. – 1975. – 22 с.
5. Морару К.Е. Гидрогеохимия гелия и его роль как индикатора взаимосвязи водоносных горизонтов (на примере Молдавского артезианского склона): автореф. дис. канд. геол.-мин. наук К.Е. Морару. – М.: МГРИ, 1987. – 16 с.
6. Морару К.Е. Тектонические особенности и макросейсмическое поле юго-западной части Русской платформы. В: Российский сейсмологический журнал. – 2020. – Т. 2. – № 2. – С. 48-57.
7. Шинкарьук В.Г. Артезианские воды Молдавии и их использование в народном хозяйстве: автореф. дис. канд. геол.-мин. наук: / В.Г. Шинкарьук. – Л., 1987. – 16 с.
8. Якуцени В.П. Геология гелия. – Л.: Недра, 1968. – 243 с.
9. Яницкий И.Н. Гелиевая съемка. – М.: Недра, 1979. – 95 с.
10. Яницкий И.Н. и др. Отражение разломов в земной коре в поле гелия // Геотектоника. – 1975. – № 6. – С. 80-91.
11. Sano Y., Takahata N., Kagoshima T. et al. Groundwater helium anomaly reflects strain change during the 2016 Kumamoto earthquake in Southwest Japan. Sci Rep 6. – 2016. – P. 37939

ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ КОНЦЕПТУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ТРЕХМЕРНОГО ГЕОЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ ПОДЗЕМНЫХ ГАЗОВЫХ ХРАНИЛИЩ (НА ПРИМЕРЕ ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ МОЛДОВА)

Гроза А.Н., Вэтэману Л.Л.

Научный руководитель д.г.- м.н. Морару К.Е.

Институт геологии и сейсмологии МГУ, г. Кишинёв, Республика Молдова

Республика Молдова не имеет месторождений нефти и газа, и целиком зависит от импорта этих ресурсов. Особенно актуальным является вопрос о природных газах. Страна остро нуждается в подземных газовых хранилищах, которые служили бы регулятором снабжения газом в пиковых ситуациях и в особых случаях. Институтом геологии и сейсмологии Молдавского Государственного Университета уже начаты комплексные геологические исследования по аргументации мест расположения подземных газовых хранилищ. Среди приоритетных задач выделяется построение трехмерной (3D) геолого-гидрогеологической модели [7, 8], вероятнее всего, на базе программного комплекса Petrel [1]. Построение 3D модели начинается с создания концептуальной модели геолого-гидрогеологической среды. Состояние и содержание концептуальной модели всецело определяет качество 3D модели [2, 3, 4]. В связи с этим целью данной работы является комплексное исследование геологического строения, гидрогеологических условий, геотермических и геохимических особенностей для создания концептуальной модели.

Объектом изучения является западно-центральная часть Молдовы, в пределах которой выделена территория площадью 625 км², граничащая на западе с Румынией. На этой площади выявлены геолого-гидрогеологические структуры, которые потенциально пригодны для создания подземных газовых хранилищ. Данная территория, в разные годы была покрыта различными геологическими, гидрогеологическими (1: 200 000 и 1:50 000) и геофизическими съемками различного масштаба (гравиметрическая, магнитная, электрическая и сейсмическая), в разные годы пробурены около 100 разведочных и эксплуатационных скважин различных глубин. Степень геологической изученности исследуемой площади детальная.

Фактическим материалом для исследований послужили данные геолого-геофизических съемок разных лет [6], многочисленные комплексные разрезы, карты, первичные материалы разведочного и эксплуатационного бурения, данные геохимических анализов, каротажные диаграммы, включая данные по геотермике.

Процесс создания концептуальной модели включает следующее: тщательный анализ тектонических условий и геолого-гидрогеологического строения; анализ принципов выделения пластов и их литологические особенности; определение структуры геологического каркаса 3D; выделение геологических тел пригодных для подземных газовых хранилищ и анализ фактического материала для 3D модели.

Из раздела тектоники представляет интерес только разломная часть. В пределах исследуемой площади тектонические разломы не обнаружены. Отсутствие разломов оценивалось по осевым линиям гелиевых, гравитационных и магнитных аномалий, по данным бурения и разрывным нарушениям, установленным геоморфологическими методами [5]. Анализ данных химизма подземных вод также не выявляет аномальные гидрогеохимические значения, равно, как и для газового состава.

В геологическом строении четко выделяются породы докембрийского кристаллического фундамента. Поверх этих образований залегают отложения досилурийского, силурийского, мелового, палеогенового и неогенового возрастов. Все геологические формации содержат подземные воды, которые приурочены к водоносным горизонтам меотического, верхнесарматского, нижнесарматского, тортонского и мелового возраста и к водоносным комплексам силура, кембрия и докембрия.

В стратиграфическом отношении, породы фундамента представлены гранитами и гранито-гнейсами крупнокристаллическими, зернистыми, сильно метаморфизованными, розовато-красного, светло-серого и серовато-беловатого цветов. Эти породы вскрыты мощностью около 16 м. Протерозойские (?) образования представлены филлитоподобными слюдястыми сланцами и прослоями конгломератов, которые сцементированы мелозернистым кварцевым материалом. Мощность этих отложений колеблется от 17.0 до 35.0 м. На филлитоподобных сланцах несогласно залегают породы кембрия, представленные преимущественно алевролитопесчанниковой толщей, мощностью от 45.0 м до 72.0 м. Выше этой толщи с литологическим контактом залегает мощная толща (164.0–188.0 м) пестро цветных сланцево-алевролитовых пород нижнего кембрия – ордовика (?). Далее, на этих породах со стратиграфическим несогласием залегает мощная (около 350.0 м) толща карбонатов силура. На эрозионной поверхности силура залегают породы верхнего мела, которые представлены базальными конгломератами и песчаниками мощностью 45.0–87.0 м. На размытой поверхности верхнемеловых отложений со стратиграфическим несогласием залегают образования кайнозоя – осадки палеогена и неогена. Мощность этих образований колеблется от 350.0 до 370.0 м, которые представлены (снизу – вверх) известняками с фауной, мергельными глинами, известковистыми глинами, песчанистыми глинами и разнозернистыми песками.

Каркас будущей 3D модели должен включать 6 геологических слоев, а именно фундамент, кембрий, кембрий – ордовик (?), силур, мел и неоген. В дальнейших исследованиях, каркас может быть детализирован, особенно в интервале кембрий – силур, где находятся структуры, подходящие для подземных газовых хранилищ.

Выделены 3 структуры, в виде антиклиналей, которые могут быть исследованы детально в качестве резервуаров для подземных газовых хранилищ (рис).

Представление антиклинальных структур в 3D координатах осуществлено при помощи программного комплекса Surfer 20.1.195.

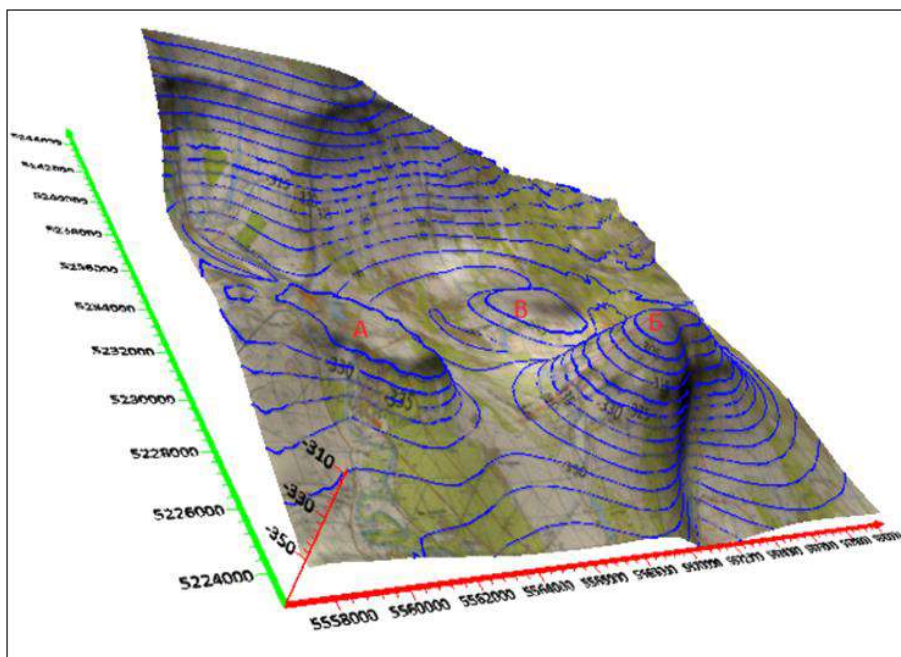


Рис. Антиклинальные структуры (А, Б и В – индексы структур; синим цветом- изолинии глубины залегания в м от абсолютной отметки)

Структура (А) представляет собой небольшое газовое месторождение, которое было частично эксплуатировано в период 1959–1964 гг. Вторая структура (Б) выделена нами по геолого-гидрогеологическим данным. Третья структура (В) – самая маленькая, также выделена нами.

В результате выполненных исследований создана принципиальная концептуальная модель для последующего трехмерного геологического моделирования подземных газовых хранилищ.

Таким образом, для исследованной площади, были проанализированы тектонические условия и геолого-гидрогеологическое строение, принципы выделения пластов и их литологические особенности, структура геологического каркаса 3D и геологические структуры пригодные для подземных газовых хранилищ. В процессе 3D моделирования, безусловно будут уточнены и добавлены многие геолого-гидрогеологические элементы, но основа концептуальной модели останется значимой.

Исследования были выполнены при финансовой поддержке Государственной программы научных исследований Республики Молдова, код 010902 по теме “Комплексные геолого-гидрогеологические и геохимические исследования с целью выявления участков для подземного хранения природных газов в центрально-западной части Республики Молдова (теория, методология и технико-экономическое обоснование)”.

Литература

1. Геологическое и структурное моделирование в Petrel с методами автоматизации процессов обновления модели. Schlumberger Information Solutions, 2008, 266 p.
2. Гладков Е.А. Геологическое и гидродинамическое моделирование месторождений нефти и газа: учебное пособие / Томский политехнический университет. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2012. – 99 с.
3. Закревский К.Е. Геологическое 3D моделирование. – М.: ООО ИПЦ Маска, 2009, – 376 с.
4. Закревский К.Е. Практикум по геологическому 3D моделированию. Построение тестовой модели в Petrel. 2009. – М: РГУ нефти и газа имени И.М.Губкина, 2010, – 110 с. ISBN 978-5-98422-099-6.
5. Морару К.Е. Тектонические особенности и макросейсмическое поле юго-западной части Русской платформы // Российский сейсмологический журнал. – 2020. – Т. 2. – № 2. – с. 48- 57. DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2020.2.04>
6. Шинкарьук В.Г. Артезианские воды Молдавии и их использование в народном хозяйстве: автореф. дис. канд. геол.-мин. наук. / В.Г. Шинкарьук. – Л., 1987. – 16 с.
7. Liu L., Li T., Ma C. Research on 3D Geological Modeling Method Based on Deep Neural Networks for Drilling Data // Appl. Sci. – 2024. – 14. – С. 423.
8. Abigail K. Burt, Phillip Sirls and Alan Keith Turner. Data Sources for Building Geological Models. Applied Multidimensional Geological Modeling: Informing Sustainable Human Interactions with the Shallow Subsurface, First Edition. Edited by Alan Keith Turner, Holger Kessler, and Michiel J. van der Meulen // John Wiley & Sons Ltd. – 50 p.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЦЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ ГИДРОМИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ НЕФТЕГАЗОКОНДЕНСАТНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ БАЙКИТСКОЙ АНТЕКЛИЗЫ

Зарубов М.С., Данилова М.А., Ишков А.А., Вахромеев А.Г., Горохов А.П.

Научный руководитель профессор А.Г. Вахромеев

¹ООО «РН-КрасноярскНИПИнефть» г.Красноярск, Россия

²«Институт земной коры» СО РАН г.Иркутск, Россия

Байкильская антеклиз, расположенная в пределах Сибирской платформы, является крупной геологической структурой. В ее недрах сосредоточены колоссальные запасы рассолов, имеющих промышленные концентрации таких ценных микрокомпонентов как литий (Li), стронций (Sr), рубидий (Rb), бром (Br), бор (B), цезий (Cs). Несмотря на то, что тема извлечения ценных микрокомпонентов из промышленных рассолов активно изучалась многими известными гидрогеологами, такими как М.Г. Валяшко, Е.В. Пиннекер, С.Л. Шварцев, В.И. Вожов, М.Б. Букаты, А.А. Алексеев, а также технологами Н.П. Коцупало, А.Д. Рябцев, А.А. Цхай, А.Т. Менжерес, А.Б. Орлова, начиная с 50-х годов 20 века, однако вплоть до 2023 г. технология извлечения элементов из рассолов так и не была реализована на практике [3].

Среди основных проблем, препятствовавших промышленному освоению данного вида сырья, с которыми сталкивались исследователи данной темы можно выделить следующие: большая глубина залегания промышленных рассолов и связанные с этим высокие затраты на добычу рассолов, труднодоступность месторождений промышленных вод, высокая себестоимость извлечения ценных элементов.

В 2022 году, в связи с ростом мировых цен на литий (рис.), связанный с повсеместным внедрением литий-ионных и литий-полимерных аккумуляторов, используемых в бытовой технике и автомобилях, возобновился интерес к извлечению и освоению промышленных рассолов Восточной Сибири. Не смотря на небольшое падение цен на литий, в 2024 г согласно докладу Геологической службы США «USGS» к 2030 г. мировое потребление увеличится в 7 раз относительно текущего 136 тыс. тонн/год.



Рис. 1. Динамика мирового потребления лития и изменения цен на литиевое сырье

На фоне увеличения интереса Российских добывающих компаний к литию, также возрос интерес и к промышленным рассолам, в которых концентрации литий достигают 400 мг/л. Для повышения эффективности и рентабельности производства лития целесообразно комплексное использование промышленных рассолов и извлечение из него таких микрокомпонентов как литий (Li), стронций (Sr), рубидий (Rb), бром (Br), бор (B), цезий (Cs), которые содержатся в промышленных концентрациях [2].

Первоочередный интерес с точки зрения использования промышленных вод представляют попутные воды нефтегазовых месторождений, так как в пределах месторождений уже реализованы схемы по добыче и утилизации попутной воды, имеется энергетическая и транспортная инфраструктура, что позволяет снизить затраты на запуск установок по извлечению ценных микрокомпонентов. Так в 2024 на государственный баланс были поставлены промышленные воды на Ярактинском месторождении промышленных вод» (ООО «ИНК»), на Знаменском месторождении (ООО НПВФ «БрайнСиб»), Ковыктинском (ПАО «Газпром»), и попутно добываемых вод на «Ромашкинском месторождении» (ПАО «ТатНефть»).

Среди наиболее перспективных с точки зрения использования гидроминерального сырья следует выделить нефтегазовые месторождения, расположенные в пределах Байкитской антеклизы. В центральной части данной структуры расположены Юрубчено-Тохомское НГКМ и Куломбинское НГКМ, на периферии которых находятся Оморское и Шушукское месторождения, а также объекты Камовской, Сейсморазведочной, Аргишской площадей [4]. Уникальность месторождений данной группы заключается в том, что по причине расположения в зоне повышенного пластового давления, они разрабатываются, преимущественно, без применения системы ППД (либо с ограниченным их применением). Таким образом попутные воды, извлекаемые при добыче углеводородов, представлены чистыми промышленными рассолами рифейского водоносного комплекса, в которых не происходит разубоживание концентраций ценных элементов.

В тектоническом отношении исследуемое месторождение находится в пределах вершинной части Камовского свода Байкитской антеклизы, юго-западной части Сибирской платформы. Геологический разрез разделяется на два структурных этажа: кристаллический фундамент и осадочный чехол. В свою очередь осадочный чехол платформы подразделяется на два структурных яруса: рифейский и венд-ордовикский, которые разделены угловым несогласием. По данным сейсморазведочных работ в пределах района выделяется большое количество тектонических нарушений и глубинных разломов, связанных с процессами рифтообразования, происходившими в среднем протерозое [4].

В гидрогеологическом отношении все месторождения расположены в юго-западной части Тунгусского артезианского бассейна, входящего в состав Сибирского сложного артезианского бассейна. В разрезе осадочного чехла Байкитской антеклизы выделяют следующие гидрогеологические подразделения: четвертичный водоносный комплекс, верхнепалеозойско-нижнетриасовый водоносный комплекс, ордовикско-девонский водоносный комплекс, кембрийский водоносный комплекс, верхневендско-нижнекембрийский водоносный комплекс, вендский водоносный комплекс, рифейский водоносный комплекс. Промышленные рассолы приурочены преимущественно к отложениям соленосной формации кембрийских отложений, а также к отложениям рифейского возраста. Рифейские отложения в пределах камовского свода имеют блоковую структуру. В пределах каждого блока водоносные горизонты вингольдинской (R2vng1), ирэмэкэнской (R3irm2), юктэнской (R2jkt) объединены в единую гидродинамическую систему, отдельную от других блоков сетью непроницаемых тектонических разломов, что подтверждается различными ВНК [1].

В соответствии с общепринятой концепцией генезиса промышленных рассолов, они сформировались в результате захоронения в осадочных породах морской воды и продуктов ее сгущения, образовавшихся в результате испарительного концентрирования морской воды в изолированных лагунах в предшествующие геологические эпохи [2,4]. Позднее, в результате геологической эволюции, рассолы подверглись процессам метаморфизма, воздействию траппового магматизма в триасовом периоде – прогрева до околокритических температур, и взаимодействию с глубинными термальными флюидами, поступающими из пород фундамента по глубинным тектоническим разломам [1].

Особенности гидрогеологического строения, приведшие к формированию сверхкрепких рассолов, обусловлены комплексом факторов: наличием соленосных толщ нижнего кембрия; трапповым магматизмом с преобладанием пластовых интрузий и базальтовых покровов; интенсивной разрывной тектоникой; резкой

неоднородностью неотектонических движений; практически повсеместным распространением толщи многолетнемерзлых пород, осложненных узкими таликовыми окнами.

Рассолы рифейского водоносного комплекса имеют минерализацию от 212 до 432 г/дм³ (при среднем 322 г/дм³) и представляют собой крепкие и весьма крепкие рассолы [3]. Воды очень жесткие (от 1207 до 2765 °Ж при среднем значении 2145 °Ж), кислые и слабокислые (водородный показатель pH изменяется от 4,6 до 6,2 ед. pH при среднем 5,7 ед. pH). Анионный состав рассолов однообразен и постоянен в качестве доминирующего аниона – хлор (99,9–100 %-экв), тогда как катионный состав разнообразен и включает, кальций (25–61 %), натрий (26–60 %), магний (7–12 %), калий (0,1–5 %).

Обобщенная формула химического промышленных рассолов состава имеет вид:

$$Li42, Rb3,4 Sr746, Br1814, M212 - 432 \frac{Cl100}{Ca25-61 Na26-60 Mg7-12} pH4,6 - 6,2$$

Группа месторождений, расположенных в пределах Байkitской антеклизы, является уникальным объектом с точки зрения перспектив освоения гидроминерального сырья, так как в ее пределах уже реализован полный цикл извлечения, сепарации от нефти и утилизации промышленных рассолов, в связи с чем на производство лития из гидроминерального сырья может быть запущено в ближайшее время и с минимальными затратами на строительство инфраструктуры. В пределах указанной геологической структуры имеются перспективы к извлечению более 20 млн. м³ попутных вод в год. В случае реализации программы по извлечению ценных компонентов, полученных из рассолов, по приблизительным укрупненным расчетам может быть получено 844 т/год лития (Li), 14900 т/год стронция (Sr), 69 т/год рубидия (Rb), 36280 т/год брома (Br).

Вступая в новый экономический цикл, в условиях, когда перед добывающей отраслью стоит задача, обеспечить развивающуюся экономику России редкими металлами, освоение гидроминеральных ресурсов Сибирской платформы представляет собой критически важную задачу государственного масштаба. Комплексное использование гидроминеральных ресурсов позволит создать автономную ресурсную базу, необходимую для устойчивого развития высокотехнологичных отраслей экономики, что является ключевым фактором обеспечения экономической независимости России и конкурентоспособности ее экономики в XXI веке.

Литература

1. Баранова М.И. Сдвиговая тектоника Куюмбинского газонефтяного месторождения (Восточная Сибирь): специальность 25.00.12 "Геология, поиски и разведка нефтяных и газовых месторождений": автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук / Баранова Марина Илларионовна. – Новосибирск, 2011. – 21 с.
2. Вахромеев А.Г., Смирнов А.С., Данилова М.А., Кирюхин А.В., Сергеева А.В., Мисюркеева Н.В., Озеров А.Ю., Мамаков Д.О. Вулканогенно-тектоническая модель формирования флюидодинамических структур в осадочном чехле Ангара-Ленского артезианского бассейна Сибирской платформы // Интерэкспо Гео-Сибирь, 2024. – Т. 2. – № 1 – С. 21-25.
3. Вожов В.И. Подземные воды и гидроминеральное сырье Лено-Тунгусской нефтегазоносной провинции. – Монография. – Новосибирск, 2006. – 265 с.
4. Харахинов В.В., Шеленкин С.И. Нефтегазоносность докембрийских толщ Восточной Сибири на примере Куюмбинского и Юрубчено-Тохомского ареала нефтегазопоявления. – М.: Научный мир, 2011 – 420 с.

ВЕРИФИКАЦИЯ ПРОГНОЗНЫХ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ (НА ПРИМЕРЕ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕГАЗОДОБЫЧИ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ)

Иванова Д.А.

Научный руководитель доцент Бракоренко Н.Н.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Геотехнический мониторинг в настоящее время является одним из инструментов безопасного функционирования объектов добычи нефти и газа в районах, признанных Крайним Севером, характеризующихся сложными геологическими строением и процессами. Главной геологической особенностью данных территорий можно назвать практически повсеместное распространение многолетнемерзлых пород, которые существенно влияют на увеличение стоимости и трудоемкости строительства и эксплуатации объектов поверхностного обустройства месторождений [1].

На этапе разработки проектной документации в состав проекта включают раздел мероприятий по геотехническому мониторингу. Прогнозное моделирование температурного режима грунтов основания посредством проведения теплотехнических расчетов является важнейшим инструментом для определения принципа строительства инфраструктуры месторождения на многолетнемерзлых грунтах, и, как следствие, определения необходимых мероприятий по геотехническому мониторингу и температурной стабилизации грунтов. Проведение прогнозных расчетов регламентируется СП 25.13330.2020 «Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах» [2].

Целью данной работы является верификация прогнозных теплотехнических расчетов, выполненных в специализированном программном обеспечении (далее – ПО) относительно полученных данных в результате проведения геотехнического мониторинга (термометрические и геодезические наблюдения) на строящемся объекте нефтегазодобычи в Иркутской области.

Для верификации прогнозных расчетов, полученных в результате использования специализированного ПО, используются статистические данные измерений температур грунтов в термометрических скважинах, а также измерений вертикальных перемещений сооружений по деформационным маркам на территории объекта

нефтегазодобычи на этапе строительства. Измерения проводились ежемесячно в период с октября 2021 года по декабрь 2024 года.

При создании расчётной модели в программе использовались следующие параметры: климатическая характеристика района работ по данным инженерных изысканий (температура воздуха, скорость ветра, высота снежного покрова), сведения об инженерно-геологических элементах (физико-механические свойства грунтов основания сооружения, литологические колонки), термометрические измерения расчетной скважины на этапе изысканий, коэффициенты теплообмена и теплопроводности снежного покрова (расчетные величины). В качестве расчетного объекта выбраны блочно-модульные сооружения в количестве 3 штук габаритами 3×9 м. Расчетная модель составлена размером 50×50 метров. Геологические слои расчетных скважин представлены, преимущественно, суглинками.

В основе расчетного ПО используется широко апробированное уравнение теплопроводности, в котором учтены фазовые превращения и перенос тепла за счет конвекции.

Рассчитанные температуры грунтов основания в сравнении с данными, полученными термометрическими наблюдениями на 15.10.2024 представлены на рис. 1.

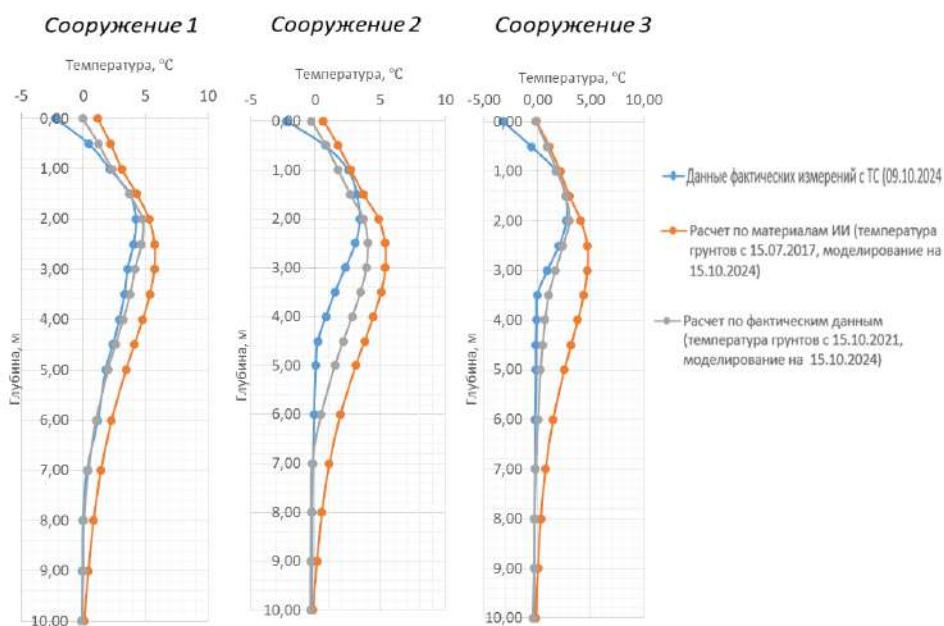


Рис. 1. Результаты верификации расчетов по натурным обследованиям

Кривые распределения температур, полученные расчетом на основе фактических данных, наиболее точно соответствуют фактическому распределению температур по результатам измерений, что позволяет сделать вывод о том, что прогнозную модель необходимо уточнять на этапе строительства (с учетом полученных натурных наблюдений).

В районах Крайнего Севера сезонные и глобальные изменения температуры воздуха способны привести к увеличению глубины оттаивания или пучению вечномёрзлых грунтов. Температура и деформации оснований фундаментов сооружений между собой имеют линейную зависимость, что демонстрируется на рассматриваемых объектах согласно результатам натурных обследований (рис. 2) [1].

Зависимость значений осадки оснований фундамента (s , м) от температуры грунтов (T , °C)

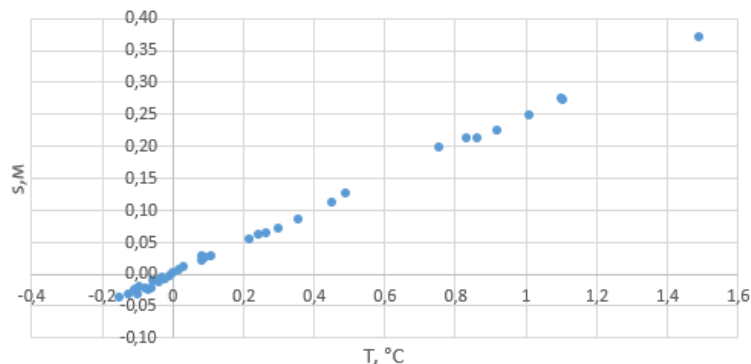


Рис. 2. Линейная зависимость осадки грунтов оснований сооружений от температуры

На основе проведенных в специализированном ПО теплотехнических расчетов изменения температурного режима грунтов, возможен расчет значений осадки фундаментов сооружений (табл.). На основа фактических измерений аналогично демонстрируется уточнение расчетных значений.

Таблица

Верификация деформаций оснований фундаментов 3иС

	Сооружение 1	Сооружение 2	Сооружение 3
S (фактические данные на 15.10.2024г.), м	-0,0229	-0,02244	-0,00134
S (расчет по данным ИИ), м	-0,0286	-0,03010	-0,05123
S (расчет по уточненным температурам), м	-0,0271	-0,04654	-0,02910

Обобщая вышеизложенное можно сказать, что специализированное ПО для выполнения прогнозных расчетов температурного режима грунтов является эффективным инструментом при проектировании, который способен продемонстрировать определенные закономерности поведения многолетнемерзлых грунтов со временем на объектах нефтегазодобычи в криолитозоне. Несмотря на это, в обязательном порядке необходимо проводить геотехнический мониторинг, данные которого позволяют верифицировать прогнозные модели. При проведении и уточнении расчетов также важно учитывать глобальные климатические изменения, такие как тренд повышения температуры, сезонную высоту снежного покрова, скорость ветра.

Литература

1. Гилев Н.Г., Поверенны Ю.С., Павлов М.С. и др. Геотехнический мониторинг объектов нефтегазодобычи в криолитозоне // Фундаменты. – 2021. – № 4. – С. 34-36.
2. СП 25.13330.2020 Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах.

ТРАНСПОРТ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ОТ СЕЛА ПЕТРОПАВЛОВСКОЕ ДО СЕЛА ПАУТОВО КАК РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ (ПЕТРОПАВЛОВСКИЙ РАЙОН АЛТАЙСКОГО КРАЯ)

Куверин К.Н.

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия
ЗАО ПИИ Алтайводпроект, г. Барнаул, Россия*

В настоящее время во многих районах Российской Федерации существуют проблемы с обеспечением населения питьевой водой в нужном количестве и необходимого качества по причинам несоответствия доступной воды нормативным требованиям и отсутствия системы водоподготовки, а также нецелесообразности строительства станции водоподготовки в каждом населенном пункте по экономическим соображениям. В частности, жители поселков имени Калинина, Красные Орлы, сел Николаевка и Паутово в Петропавловском районе Алтайского края также сталкиваются с проблемами качества питьевой воды. Анализ подземных вод на данной территории показывает, что они не соответствуют нормам СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»[5]: наблюдается превышение предельно допустимых концентраций (ПДК) по содержанию железа и марганца.

В гидрогеологическом отношении исследуемый район расположен в зоне сочленения двух гидрогеологических структур: южной части Иртышско-Обского артезианского бассейна с южной оконечностью Саяно-Алтайской гидрогеологической складчатой области и входит в состав Западно-Сибирского сложного бассейна пластовых вод. Питание подземных вод в районе происходит, главным образом, за счет инфильтрации атмосферных осадков.

Сложное гидрогеологическое строение района, а также широкое развитие засоленных почв обуславливают значительное разнообразие в водообильности пород, химическом составе и минерализации подземных вод.

В пределах долины р. Ануй распространены водоносный верхнеплейстоценовый аллювиальный горизонт (аQ_{III}) и водоносный ниже- среднеплейстоценовый аллювиальный горизонт (аQ_{I-II}). Последний используется для хозяйственно-питьевого водоснабжения. Он приурочен к ниже- среднеплейстоценовым отложениям монастырской свиты древней долины р. Ануй, ширина которой составляет порядка 5 км. Сверху отложения описываемого горизонта обычно перекрываются покровными однообразными суглинками, переходящими в супеси и илы мощностью до 10,0 м. В пределах долины реки водовмещающими породами являются сложно переслаивающиеся пласты плохо отсортированных песков, песчано-гравийных и гравийно-галечниковых отложений. Мощность горизонта здесь изменяется от 8 до 36 и более и зависит от глубины вреза долины в подстилающие глины. Питание водоносного горизонта осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков, притока из смежных горизонтов и, в паводковый период, за счет поверхностных вод р. Ануй, разгрузка осуществляется в речную сеть.

Подземные воды практически безнапорные, но наблюдаются местные напоры, достигающие 15 м. Уровни воды устанавливаются на глубинах от 1,5 до 15,5 м. Водообильность аллювиальных отложений разнообразная. Дебиты эксплуатационных скважин варьируют в пределах 2,8–31,2 л/с при понижениях уровней от 1,5 до 14,0 м, удельные дебиты в пределах 1,2–2,5 л/с.

Химический состав подземных вод разнообразный. Воды от пресных до солоноватых. Минерализация составляет 0,5–1,2 г/дм³. Тип пресных вод – сульфатно-гидрокарбонатный по анионному составу и магниевो-

кальциевый по катионному составу. Тип солоноватых вод – гидрокарбонатно-хлоридный кальциево-натриевый или магниевый-натриевый. Общая жесткость зависит от степени их минерализации и достигает 11,6 мг-экв/дм³. Железо общее содержится в водах в допустимых количествах. Органолептические и бактериологические показатели соответствуют норме). Содержание пестицидов и микрокомпонентов не превышает допустимых норм.

Водоснабжение села Паутово организовано на основании одного водозабора из подземных вод, который находится в центральной части села и состоит из двух скважин – №№ БЗ/2010 и Б2/2010 (резервная), расположенных на одной водозаборной площадке размером 100×100 м. Вода, добываемая из скважины № БЗ/2010, направляется напрямую в водонапорную башню, откуда она распределяется по водопроводной сети. Фактический дебит обеих скважин составляет 14 м³/час, или 336 м³/сутки. а фактический расход воды – 21,2 м³/сутки. В 2025 г. в воде из основной скважины выявлено превышение ПДК по общему железу, общей жесткости и марганцу.

В селе Николаевка водоснабжение осуществляется из 2-х скважин глубиной по 45 метров, дебит каждой 9,72 м³/час и 36 м³/час, фактический расход воды составляет по 22,22 м³/сутки.

В п. Красные орлы также эксплуатируются 2 скважины глубиной 35 и 32 метра, дебит по 15 м³/час. Фактический расход воды составляет по 11,1 м³/сутки и 15,1 м³/сутки.

Имеющиеся ресурсы, принимая во внимание текущие объемы добычи и, что немаловажно, качество подземных вод, не позволяют обеспечить устойчивое и надежное водоснабжение населения указанных поселков. Решения проблемы возможно организацией подачи воды из внешнего источника – водозабора, характеризующегося гарантированным дебитом и высоким качеством воды, отвечающим требованиям санитарных норм и правил.

Проектный водозабор расположен в 0,8 км на запад от с. Петропавловское (условное наименование Петропавловское-1), рядом с существующим лицензированным водозабором для села Петропавловское (Петропавловское-2) с объемом добычи подземных вод 20,6 м³/ч (495,4 м³/сутки). Относительная простота геологического разреза (Монастырская свита и аллювиальные отложения) указывает на более предсказуемые гидрогеологические условия, чем в районе расположения проблемных населенных пунктов.

Водозабор Петропавловское-1 состоит из двух скважин, которые вскрывают в интервале глубин 15-35 м водоносный аллювиальный ниже-среднеплейстоценовый горизонт эффективной мощностью 20 м. Скважина № 301 (основная) глубиной 35 метров, дебит 22 м³/час (528,00 м³/сутки), скважина № 201 (резервная) – 27,9 м³/час (669,6 м³/сутки). Воды горизонта напорные, статический уровень при откачке 2,58 м, дебит при откачке 6,57 л/с, понижение уровня 0,92 м, удельный дебит 7,14 л/(с×м).

Расчётные параметры горизонта: водопроводимость 2478 м²/сутки; коэффициент фильтрации 123,9 м/сут; коэффициент пьезопроводности 1,32×10⁵ м²/сутки; допустимое понижение в горизонте 22,42 м; фильтрационное сопротивление в скважине – 32,4

Водозабор Петропавловское-2: скважина № 2 (основная) глубиной 35 метров, дебит 24 м³/час (576,00 м³/сутки), скважина № 3 (резервная) – 27,9 м³/час (669,6 м³/сутки).

Проектируемый водозабор планируется использовать для питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения населенных пунктов Петропавловского района в объеме 495,4 м³/сутки: с. Паутово – 214,8 м³/сут, 78,402 тыс.м³/год; с. Николаевка – 184,7 м³/сут, 67,416 тыс.м³/год; п.им. Калинина – 46,87 м³/сут, 17,107 тыс.м³/год; п. Красные Орлы – 49,03 м³/сут, 17,896 тыс.м³/год.

По химическому составу подземные воды эксплуатируемого горизонта пресные гидрокарбонатные натриево-кальциевые, содержание сухого остатка 184–314 мг/дм³, величина общей жесткости 3,5–5,8 мг-экв/дм³. Микрокомпонентный состав подземных вод характеризуется устойчивым составом, содержание основных загрязняющих веществ не превышает ПДК. Величины основных нормируемых показателей солевого состава не превышают норм. Органолептические показатели соответствуют нормам. Токсичные элементы и органические соединения имеют концентрации, соответствующие нижнему пределу обнаружения. В микробном отношении подземные воды безопасны. Радиометрические показатели проб воды в норме. Качество воды соответствует с СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».

Запасы подземных вод подсчитаны по состоянию на 01.01.2025 г. применительно к одиночному водозабору в объеме 495 м³/сутки по категории «В» и отнесены к балансовым. Согласно «Классификации запасов и прогнозных ресурсов питьевых, технических и минеральных подземных вод» изученный участок недр Петропавловский-1 отнесен к 1-ой группе сложности, а по степени изученности – к группе разведанных.

Предварительный план подключения населенных пунктов к водозабору «Петропавловское-1» заключается в следующих мероприятиях. Планируется прокладка магистрального водовода общей протяженностью ориентировочно 25 км из полиэтиленовых труб (ПЭ100) диаметром 225–315 мм, обеспечивающих надежность и долговечность. Маршрут трубопровода пройдет вдоль существующих дорог и полей с минимальным воздействием на лесные участки и сельскохозяйственные земли. Для обеспечения необходимого давления в системе необходимо предусмотреть строительство наземной насосной станции II подъёма, местоположение которой будет определено на основе гидравлического расчета и рельефа местности. Для обеспечения гарантированного запаса воды и выравнивания пиковых нагрузок планируется строительство стеклопластиковых резервуаров чистой воды в каждом населенном пункте.

В каждом населенном пункте необходима замена устаревших водопроводных сетей на новые полиэтиленовые трубы меньшего диаметра (90–160 мм) с подключением каждого дома к централизованной системе водоснабжения.

Предварительная оценка стоимости проекта составляет 200–250 миллионов рублей. Более точная оценка будет произведена после разработки проектно-сметной документации. Источники финансирования: федеральный и региональный бюджеты, внебюджетные источники (инвестиции).

Подключение к водозабору «Петропавловское-1» является экономически более выгодным решением, чем установка локальных систем очистки воды в каждом населенном пункте. Централизованная система водоснабжения позволит снизить затраты на эксплуатацию и обслуживание, обеспечить более стабильное качество воды и повысить надежность водоснабжения.

Таким образом, подтвержденные балансовые запасы, гидрогеологические условия и качество воды проектного водозабора «Петропавловское-1» свидетельствуют о его надежности и перспективности в качестве источника питьевого водоснабжения. В целом решение проблемы водоснабжения поселков им. Калинина, Красные Орлы, сел Николаевка и Паутово путем подключения к водозабору «Петропавловское-1» представляется обоснованным и целесообразным, учитывая неблагоприятные гидрогеохимические условия и сложное гидрогеологическое строение района расположения этих населенных пунктов.

Литература

1. Зверев В.П. Подземные воды земной коры и геологические процессы – М.: Научный мир, 2007. – 256 с.
2. ПОСТАНОВЛЕНИЕ от 28 января 2021 года N 2. Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». <https://docs.cntd.ru/document/573500115>
3. Шварцев С.Л. Общая гидрогеология / С.Л. Шварцев. – Москва: Альянс, 2012. – 601 с.

ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ЗАСТРАИВАЕМЫХ ТЕРРИТОРИЙ НА ПРИМЕРЕ ЛЕВОГО БЕРЕГА РЕКИ ТОМИ

Ли А.С.

Научный руководитель доцент Чилингер Л.Н.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

На сегодняшний день Левый берег реки Томи характеризуется интенсивным освоением территории, где активно возводятся новые жилые массивы, появляются новые микрорайоны и развивается инфраструктура. Подобные преобразования городского пространства обуславливают необходимость в проведении комплексного анализа территории, включающего оценку разнообразных факторов, а также использование различных методик и технологий. Такой анализ позволяет на ранних стадиях выявлять территории с признаками хаотичной застройки или чрезмерной нагрузкой, что позволит в дальнейшем снизить уровень антропогенной нагрузки.

В рамках данного исследования застраиваемые территории рассматриваются с точки зрения пространственного анализа. Именно реализация такого подхода возможна при использовании геоинформационных технологий, что хорошо подходит для хранения и управления большими объемами пространственной информации, которую можно визуализировать при создании тематических карт и картографических изображений. Помимо этого, геоинформационные системы содержат в себе огромное количество инструментов, которые можно использовать при анализе застраиваемых территорий.

Пространственный анализ – это набор методов, используемых для анализа пространственных данных, которые представляют собой данные, имеющие географический или локационный компонент. Такой процесс включает изучение местоположений, атрибутов и взаимосвязей признаков в пространственных данных.

В рамках исследования проведена апробация метода пространственного анализа, основанная на расчете показателей плотности и коэффициента плотности застройки, что позволило количественно оценить текущий уровень застроенности части территории Левого берега города Томска и проанализировать полученные значения на соответствие нормативным требованиям [1].

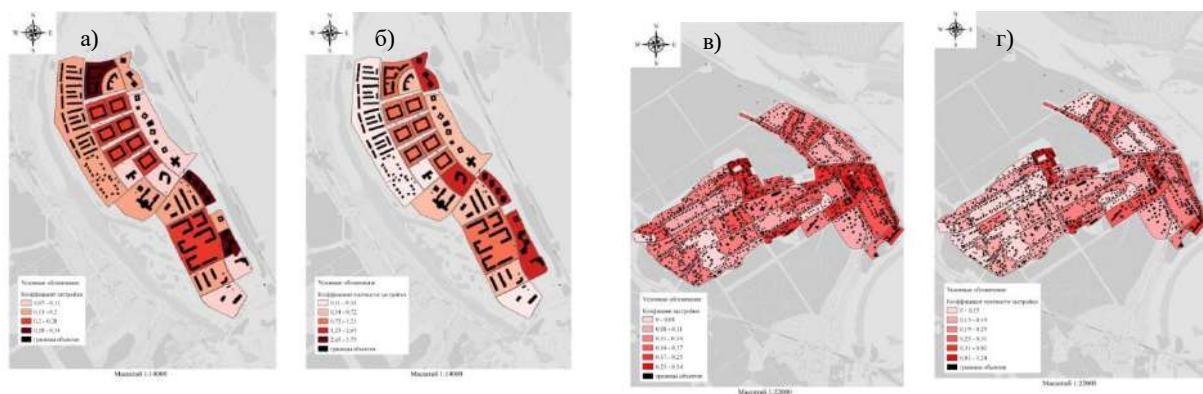


Рис. 1. Показатели коэффициента плотности застройки (а – мкр. Северный парк, б – с. Тимирязевское сельское поселение), показатели коэффициента застройки (в – мкр. Северный парк, г – с. Тимирязевское)

Коэффициент застройки – это отношение площади, занятой под зданиями и сооружениями, к площади территории, а коэффициент плотности застройки определяется как отношение суммарной поэтажной площади

зданий и сооружений к площади территории [1]. В данном случае, территориальной единицей являются уличные блоки – это части городской территории, ограниченные улицами или естественными границами, если улицы окружают уличный блок не со всех сторон [2].

Для проведения анализа были использованы данные из открытых источников, включая информацию о геометрии объектов и их этажности из OpenStreetMap и 2GIS соответственно. Помимо этого, были оцифрованы границы уличных блоков, а также занесена атрибутивная информация об этажности объектов, что необходимо для расчета показателей.

Для апробации описанной ранее методики были выбраны два разных типа застройки: район с преобладающей среднеэтажной жилой застройкой (микрорайон Северный парк) и территория с преобладающим индивидуальным жилищным строительством (территория с. Тимирязевское, ограниченная кадастровыми кварталами 70:14:0123001, 70:14:0123003 и 70:14:0123002).

После обработки исходных данных была проведена аналитическая работа, заключающаяся в расчетных операциях. На первом этапе были рассчитаны площади всех объектов недвижимости и границ уличных блоков. Как упоминалось ранее, для расчета коэффициентов, необходимо знать о том, какая суммарная площадь зданий находилась в пределах одного уличного блока. Для автоматизации процесса был применен инструмент «Join attributes by location», который позволил агрегировать данные и определить суммарную площадь зданий в пределах каждого уличного блока. Вторым и заключительным этапом является расчёт коэффициентов через калькулятор.

Все расчеты выполнялись с последующей визуализацией результатов. Для наглядного представления данных была настроена градация значений по цветовой шкале. Полученные результаты распределения показателей по исследуемым территориям представлены на рис. 1.

Для оценки результатов расчета коэффициентов застройки и плотности застройки были использованы нормативные показатели, установленные СП 42.1330.2016 [1], а также сведения о территориальном зонировании согласно Правилам землепользования и застройки муниципального образования «Город Томск» (табл.).

Таблица

Нормативные показатели коэффициентов застройки и плотности застройки

Микрорайон Северный парк			Село Тимирязевское		
Территориальная зона	Кз	Кпз	Территориальная зона	Кз	Кпз
Ж-2. Зона застройки малоэтажными многоквартирными жилыми домами в 1-4 этажа	0,4	0,8	Ж-3. Зона застройки индивидуальными жилыми домами	0,2	0,4
Ж-3. Зона малоэтажной жилой застройки с земельными участками для ведения личного подсобного хозяйства	0,3	0,6	О-1. Зона делового, общественного и коммерческого назначения	1,0	3,0
О-3. Зона размещения объектов образования	0,8	2,4	О-2, О-3, О-6. Зона учреждений здравоохранения, социальной защиты, образовательных учреждений	0,8	2,4
О-1. Зона центра	1,0	3,0			

В ходе анализа выявлено, что в селе Тимирязевское коэффициент застройки, в большинстве случаев, не превышает нормативных значений, однако, в ряде случаев, приближается к максимально допустимым пределам, а в единичных случаях – даже превышает их. Тем не менее, в целом, можно утверждать, что градостроительное развитие данной территории характеризуется равномерным распределением без резких перепадов плотности. Что касается коэффициента плотности застройки, то здесь обнаружено единичное превышение: для зоны индивидуального жилищного строительства значение составило 1,2. Дальнейший анализ показал, что на данном участке расположена малоэтажная застройка многоквартирными домами, что является причиной повышенной плотности. Несмотря на то, что размещение подобных объектов формально не соответствует действующим правилам землепользования и застройки, это не позволяет однозначно идентифицировать такие объекты незаконными. В градостроительной практике встречаются ситуации, когда зонирование территории осуществляется после возведения на ней строительных объектов.

В микрорайоне Северный парк коэффициент застройки полностью соответствует требованиям СП 42.1330.2016 [1]. Однако результаты расчета плотности застройки вызывают вопросы. В частности, в зоне Ж-2 зафиксировано превышение нормативного значения коэффициента плотности застройки, что может свидетельствовать о недостаточной площади, отведенной под строительство. Фактические вычисленные значения коэффициентов не противоречат значениям, установленными правилами землепользования и застройки. Как упоминалось ранее, проведенное исследование позволило количественно определить текущий уровень застроенности территории, что необходимо для выявления участков с нарушением градостроительных норм. Помимо этого, подобный метод позволяет регулировать интенсивность использования территории, что позволяет на ранних этапах определить хаотичную или чрезмерную застроенность территории.

Литература

1. СП 42.13330.2016. Градостроительство, планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01–89* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/456054209>.
2. Картетика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cartetika.ru/tpost/odvx1s2yh1-kak-schitayut-goroda-plotnost-zastroiki>.

**ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА СЕТЕЙ ВОДОСНАБЖЕНИЯ
И ВОДООТВЕДЕНИЯ ДО ОБЪЕКТОВ СУБКЛАСТЕРА «БЕЛОКУРИХА-2»
ТУРИСТСКО-РЕКРЕАЦИОННОГО КЛАСТЕРА «БЕЛОКУРИХА», (АЛТАЙСКИЙ КРАЙ)**

Макаров И.О.

**Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия
ЗАО ПИИ Алтайводпроект, г. Барнаул, Россия**

Необходимость создания туристской территории «Белокуриха Горная» связана с устойчивым развитием внутреннего туризма и способствует реализации инвестиционных проектов по строительству санаторно-курортных объектов на территории субкластера «Белокуриха-2» туристско-рекреационного кластера «Белокуриха». Район работ расположен в Белокурихинском физико-географическом районе Северо-Алтайской провинции Алтайской области Гор Южной Сибири [1], на земельном участке площадью 136 гектаров, который располагается на высоте около 800 метров над уровнем моря. Близость к горам Синюха (1379 м), Теплуха (826 м), Сухая Грива (1379 м), Черная Грива (1138 м) позволяет создать полноценный горнолыжный курорт. Отсутствие какой-либо хозяйственной деятельности, прекрасный равнинно-горный ландшафт и запасы минеральных вод в два раза больше, чем у действующего курорта, делают этот проект уникальным туристическим объектом.

Целью исследования является проведение комплексного анализа территориальных особенностей, изучение природных условий и техногенных факторов, для формирования программы изысканий, которая станет основой для проектирования и последующего строительства систем водоснабжения и водоотведения до объектов субкластера «Белокуриха-2». На основании составленной программы и результатов проведенных инженерных изысканий необходимо разработать критерии надёжности и эффективности, обеспечивающие безопасный маршрут трассирования, устойчивость и долговечность объектов строительства в условиях экологических ограничений, сложного рельефа и высокой сейсмичности.

Участок земельного отвода, предназначен для проектирования и строительства объекта туристско-рекреационного кластера «Белокуриха», включает в себя сети газоснабжения, водоснабжения и водоотведения на территории субкластера «Белокуриха-2». При проведении предпроектных работ инженерных сетей, учтены построенные на «Белокурихе-2» лыжно-биатлонный и горнолыжный комплексы, гостиница, музейный комплекс, многочисленные арт-объекты и развернувшееся строительство других объектов в соответствии с концептуальным планом развития территории.

Для оценки возможности доставки воды требуемого качества были проведены комплексные инженерные изыскания, включающие анализ ранее проведённой оценки запасов подземных вод Сычевского месторождения. Выбор этого месторождения в качестве источника водоснабжения обусловлен рядом важных факторов, таких как доступность воды, ее качество и соответствие санитарным нормам. В результате ранее проведённых работ доизучены гидрогеологические условия [4]. На месторождении разведан дополнительно водоносный неоплейстоценовый-голоценовый аллювиальный комплекс. На участке водозабора он вскрыт на абсолютных отметках 198,86-199,83 м. Водоносный комплекс эксплуатируется 8-ю водозаборными скважинами. Воды комплекса безнапорные, статический уровень залегает на отметках 199,05-200,36 м, удельные дебиты скважин составляют 2,29-5,61 л/с. Запасы подземных вод водоносного комплекса подсчитаны гидродинамическим методом применительно к существующей схеме эксплуатации действующего водозабора. Балансовые запасы подсчитаны в объеме 15,0 тыс. м³/сут. Объем же суточного водопотребления объектов субкластера «Белокуриха-2» в соответствии с предполагаемыми объектами концептуальной схемы развития субкластера «Белокуриха-2» составляет 1,25 тыс. м³/сут. За период эксплуатации установлено, что извлекаемые подземные воды пресные с сухим остатком 164-304 мг/дм³, гидрокарбонатные магниевые-кальциевые, умеренно жёсткие (2,2-6,2 °Ж) практически по всем показателям соответствуют требованиям СанПиН 2.1.4.1074–01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества». Исключение составляет содержание марганца, величина которого носит непостоянный характер и временами превышает предельно допустимые концентрации.

В геоморфологическом отношении территория предполагаемых работ расположена в пределах двух таксонов. Основная ее часть расположена на геоморфологическом элементе первого порядка, на горных сооружениях Алтая, на стыке северо-западной краевой части Алтайских гор и южной части обширной Приобской равнины. Отметки поверхности изменяются от 272 до 737 м. Местность пересечённая, с изрезанным рельефом.

По данным инженерных изысканий в геологическом строении территории на исследуемую глубину до 10 м принимают участие верхнечетвертичные современные элювиально-делювиальные (edQ_{III-IV}) отложения и верхнедевонские отложения Палеозойского складчатого фундамента. Грунтовые воды залегают на глубине 3-8 м и более.

Категория сложности инженерно-геологических условий II. В соответствии с Общим сейсмическим районированием территории Российской Федерации (ОСР-2015) г. Белокуриха расположен в районе с сейсмической интенсивностью 8 баллов при уровне сейсмической опасности «А» и 9 баллов при уровне сейсмической опасности

«В». Тектоника района определяет высокую сейсмическую активность и вероятность возникновения значительных по интенсивности землетрясений. Последнее из зафиксированных произошло в сентябре 2003 года. В течение нескольких месяцев отмечались подземные толчки, вызвавшие незначительные нарушения строительных конструкций и подвижку в рыхлых отложениях. Согласно СНиП 22-01-95 «Геофизика опасных природных воздействий» землетрясения силой 8-9 баллов относятся к весьма опасным природным процессам, а землетрясения силой более 9 баллов – к чрезвычайно опасным.

В границах планируемого размещения проектируемых сетей 6 пересечений с водотоками. Притоками реки Мал. Сычевка являются несколько ручьев с постоянным стоком. Водосборные площади ручьев расположены в бассейне р. Мал. Сычевка, которая берет начало на отметке 950 м БСВ, в 1 км южнее вершины г. Сухая Грива и впадает справа в р. Большая Сычевка на 25-км от ее устья. Длина реки 6 км, площадь водосбора 7 км².

Эрозионные процессы в руслах ручьев и реки М. Сычевка практически отсутствуют. Склоны реки в основном залесенные. Склоновые процессы отсутствуют. Уровень грунтовых вод на участках «ветки» 8 и 9 менее 3 м, участок относится к естественно подтопленной территории. Подтопление относится к группе опасных природных явлений. Других опасных природных, геологических и инженерно-геологических процессов на участке работ не выявлено.

На территории исследуемого участка пролегает дорожная трасса «Белокуриха – Белокуриха-2» по территории со сложным рельефом, что обуславливает наличие 12 серпантинных участков, укрепленных на склонах габионными конструкциями и подпорными стенками. Все склоновые процессы в процессе строительства дорожного полотна были локализованы.

Строительство сетей инженерных сетей водоснабжения и водоотведения не ухудшит геологических, инженерно-геологических условий участка (состав грунтов не изменится, рельеф участка не изменится, состав подземных вод не изменится, геологические процессы не изменятся). Работы по строительству сетей водоснабжения и водоотведения не повлияют на режим грунтовых вод. При эксплуатации сети возможно появление временных водоносных горизонтов и поднятия уровня грунтовых вод из-за возможных утечек из водонесущих коммуникаций. В связи с прокладкой сети водоснабжения и водоотведения методом горизонтального наклонного бурения под руслами и поймой рек Берёзовка, Сычевка и её притоков, а также при последующей эксплуатации объекта негативное воздействие на данные водотоки сведено к минимуму. Воздействие может проявляться в водоохраных зонах и прибрежных защитных полосах водотоков.

Грунты на исследуемой территории согласно СанПиН 2.1.7.1287-03 по степени опасности в зависимости от уровня загрязнения относятся к категории «чистая», и рекомендуются к использованию без ограничений, в том числе к разработке с последующим возможным использованием для планировки территории.

В Государственном докладе «О состоянии и об охране окружающей среды в Алтайском крае в 2017 году» по уровню загрязнения атмосферного воздуха территория города Белокуриха занимает благоприятное положение в структуре муниципального района и края в целом. Это связано с ветровым режимом территории и отсутствием крупных промышленных предприятий. В городе основная часть загрязняющих веществ поступает в воздух при выработке теплоты котельными, а также от выхлопных газов машин в активной зоне обитания человека.

Участок земельного отвода, предназначенный для проектирования и строительства систем туристско-рекреационного кластера «Белокуриха» на территории субкластера «Белокуриха-2», расположен в горно-лесостепном поясе Белокурихинского геоботанического района. Верхняя граница пояса проходит на высоте 650–700 метров. В некоторых местах значительная крутизна склонов южной экспозиции обуславливает интенсивность эрозионных процессов и связанных с ними обнажения коренных пород. К выходам этих пород приурочены лесостепные сочетания, включающие сосновые остепненные леса. Леса города Белокурихи относятся к первой группе, где всякая хозяйственная деятельность запрещена, кроме выборочных рубок в санитарных целях. Степень изменения лесного комплекса под влиянием внешнего воздействия зависит от силы воздействия, которая складывается из количества отдыхающих и продолжительности их воздействия, а также от способности противостоять этому действию.

Леса рассматриваемой территории находятся на начальных стадиях дигрессии. Лесовозобновление пока нормальное. В связи с этим большое значение имеет существующая в пределах полосы отвода проектируемых линейных сооружений транспортная сеть, включающая лесные дороги и тропы, технологические дороги с частично гравийным покрытием и дороги с асфальтовым покрытием. Воздействие на растительность отмечается на расстоянии от 10 до 25 метров.

При проведении инженерно-экологических изысканий установлено, что участок строительства расположен в черте населенного пункта города Белокурихи. Часть полосы отвода проектируемых сооружений располагается вдоль строящихся автомобильных дорог территориального (районного) значения «Субкластер «Белокуриха-2» – горно-лыжный комплекс на горе Мишина» и «Субкластер «Белокуриха-2» – горно-лыжный комплекс на горе Глухарина», которые проходят по территории муниципального образования город Белокуриха от его юго-восточной границы. Вдоль них существует постоянное шумовое воздействие на животных, вызывающее усиление фактора беспокойства, в связи с чем крупные млекопитающие отсутствуют. Государственный мониторинг объектов животного мира в границах города Белокурихи не осуществляется. Согласно приказу Минприроды РФ от 10.01.2012 № 1 учётные маршруты располагаются не ближе 300 метров от жилых помещений и линейных объектов (автомобильных и железных дорог). В ходе маршрутного обследования виды животных, занесённые в Красную книгу Алтайского края (утверждена приказом Управления природных ресурсов и охраны окружающей среды от 11.04.2018 № 584) и Красную книгу Российской Федерации (утверждена приказом Минприроды России от 25.10.2005 № 289 и от 24.03.2020 № 162), отсутствуют.

Полученные данные по радиационно-экологическим исследованиям при проведении инженерных изысканий соответствуют фоновым значениям для чистой территории и обусловлены кларковым содержанием естественных радионуклидов.

Полученные материалы планируется использовать при разработке проектной документации на строительство водовода, предназначенного для транспортирования качественной воды от месторождения до потребителя в необходимом количестве. В связи с необходимостью расширения действующей и создания новой курортной зоны предлагается выбрать в качестве основного источника водоснабжения эксплуатируемый действующий водозабор, расположенный на территории города Белокуриха. Проанализирован уровень антропогенного воздействия при строительстве на природные территории, ранее не использовавшиеся в хозяйственной деятельности. Опыт и решения, применяемые при строительстве инженерных сетей «Белокурихи-2», могут быть успешно применены на других туристических кластерах с учётом местных условий.

Литература

1. Атлас Алтайского края. Т. 1. Барнаул: Главное управление геодезии и картографии при Совете Министров СССР, – 1978. – 222 с.
2. Генеральный план городского округа «Город Белокуриха» Алтайского края (утвержден решением Белокурихинского городского совета депутатов от 01.06.2012 № 37 «О внесении изменений в Генеральный план городского округа «Город Белокуриха» Алтайского края»), ЗАО «ЗапСибНИИпроект», 2012.
3. Красная книга Алтайского края. Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды животных. – Барнаул: Изд-во АГУ, 1998 а. – 238 с.
4. Отчет по переоценке запасов Сычёвского месторождения питьевых подземных вод на участке действующего водозабора ОАО "Водоканал" в Смоленском районе Алтайского края. – Барнаул, 2011.
5. Правила землепользования и застройки муниципального образования город Белокуриха Алтайского края, ООО «Алтайгипрозем», 2015 г. (утвержден Решением Белокурихинского городского Совета депутатов от 09.04.2015 N 279, от 26.11.2016 № 331, от 27.04.2016 № 367, от 30.06.2016 № 383, от 16.03.2017 № 61, от 14.12.2017 № 118, от 20.09.2018 № 170)
6. Проект планировки и межевания территории линейного объекта «Туристско-рекреационный кластер «Белокуриха». Внутренние сети газоснабжения, водоснабжения и водоотведения на территории субкластера «Белокуриха-2» туристско-рекреационного кластера «Белокуриха», ЗАО ПИИ «Алтайводпроект», Барнаул, 2021 г.

ОСОБЕННОСТИ МИКРОКОМПОНЕНТНОГО СОСТАВА ПРИРОДНЫХ ВОД БАССЕЙНА РЕКИ СОБОЛОХ-МАЯН (ПРЕДВЕРХОЯНСКИЙ ПРОГИБ, ЯКУТИЯ)

Малков Д.С.

Научный руководитель профессор Н.В. Гусева

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия

Соболох-Маян (Соболоох-Майан, Собопол) – крупный правый приток главной водной артерии Якутии реки Лена. Протяженность реки составляет – 411км, площадь водосборного бассейна – 13 300 км², расход – 82,1 м³/с (240 км от устья) [1]. В рамках рекогносцировочной оценки нефтегазоносности осадочного чехла Предверхоанского краевого прогиба в 2015 г. по данному водотоку был выполнен опорный гидрогеохимический маршрут, который пересек перикратонное погружение осадочного чехла Сибирской платформы в области ее примыкания к Западному сектору Верхоянского складчато-надвигового пояса. Помимо основного русла реки (53 пробы) были опробованы притоки (35 проб), а также крупное озеро Куолланда-Кюэль (4 пробы) в долине р. Куолланда (рис. 1).

Анализ химического состава вод проводился в Проблемной научно-исследовательской лаборатории гидрогеохимии Томского политехнического университета с использованием методов ионной хроматографии и титриметрии. Помимо этого, был изучен широкий комплекс микроэлементов методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой.

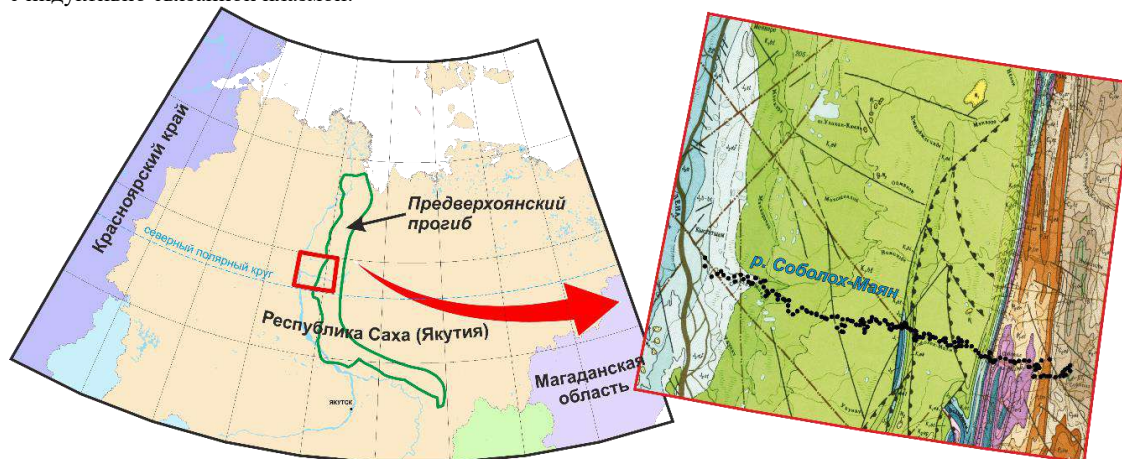


Рис. 1. Обзорная карта исследуемого участка

Несмотря на пространственную близость, отмечаются достаточно весомые различия в химическом составе изученных объектов. Воды притоков и основного русла реки Соболах-Маян сульфатно-гидрокарбонатные магниевые по составу. Их общая минерализация не превышает 180 мг/л и составляет в среднем 144,0 мг/л для вод, отобранных из основного русла и 56,9 мг/л для вод притоков.

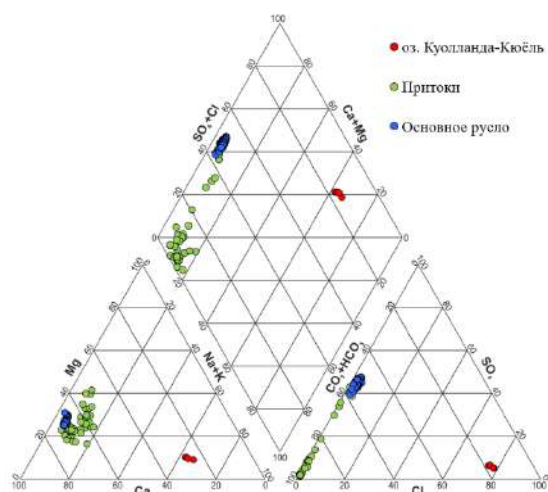


Рис. 2. Диаграмма Пайпера

опробованных водопунктов с закономерным убыванием содержаний от кремния до тантала и вольфрама. Наибольшие концентрации с содержаниями 0,0п и выше мг/л имеют алюминий (Al), кремний (Si), фосфор (P) и стронций (Sr). Для проб, отобранных из озера Куолланда-Кюэль отмечается заметное повышенные содержания лития (до 0,019 мг/л), брома (до 0,012 мг/л) и йода (до 0,00087 мг/л). Также в пробах озерных вод обращает на себя внимание на порядок более низкие содержания элементов группы лантаноидов.

Минерализация проб из озера Куолланда-Кюэль выше – до 245,9 мг/л. В составе преобладают ионы хлора (до 78 %-экв) и натрия (до 65 %-экв) (рис. 2). Более детальное описание химического состава природных вод бассейна реки Соболах-Маян представлено в работе [2].

Распределение средних содержаний микрокомпонентов (от лития до урана) в изученных водах показаны на рис. 3. Рутений (Ru), индий (In), рений (Re), осмий (Os), иридий (Ir), платина (Pt), золото (Au) и ртуть (Hg) ни в одной из проб не были определены выше чувствительности аналитического метода. Такие элементы как ниобий (Nb), палладий (Pd), теллур (Te), тантал (Ta), вольфрам (W), таллий (Tl) и бериллий (Bi) были встречены только в пробах из водотоков, в пробах озера Куолланда-Кюэль они обнаружены небыли.

Характер распределения микроэлементов схож у всех трех групп

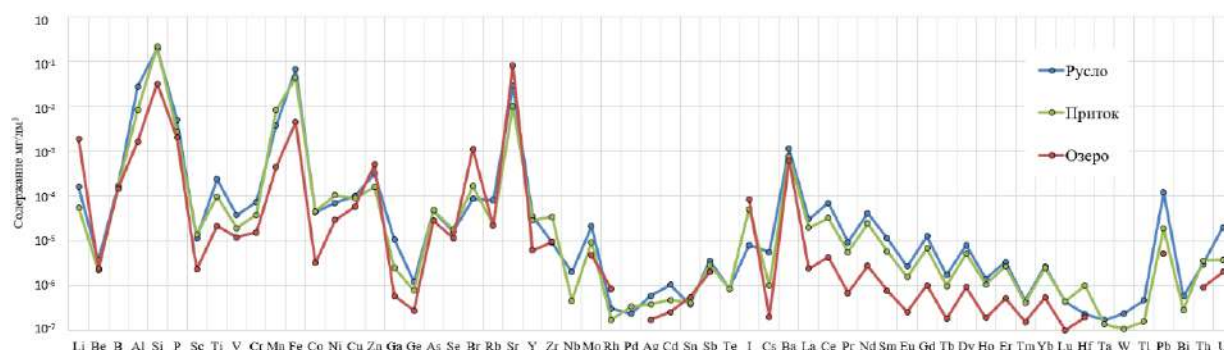


Рис. 3. Профиль распределения микроэлементов в природных водах бассейна р. Соболах-Маян

Данный характер распределения микрокомпонентов, а также общий химический состав природных вод, опробованных в пределах озера Куолланда-Кюэль свидетельствует в пользу их тесной связи с поземными водами глубоких горизонтов.

Литература

1. Ресурсы поверхностных вод СССР: Гидрологическая изученность. Т. 17. Ленско-Индигоирский район. Вып. 5. Нижняя Лена (бассейн р. Лены ниже устья р. Вилуй) / под ред. А.С. Шароглазова. – Л.: Гидрометеиздат, 1965. – 120 с
2. Малков Д.С., Сурнин А.И., Гусева Н.В. Химический состав природных вод восточного обрамления Сибирской платформы (Предверхоанский прогиб) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2024. – Т. 335. – № 11. – С. 197–209.

**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КАДАСТРОВОЙ СТОИМОСТИ НА ЭКОНОМИЧЕСКУЮ
ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗЕМЕЛЬ ЛЕСНОГО ФОНДА**

Мауль Д.А.

Научный руководитель доцент Козина М.В.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Территория Российской Федерации больше, чем наполовину, покрыта лесами. Согласно Государственному (Национальному) докладу Росреестра, к категории земель лесного фонда отнесены 66,2 % площади страны. Лес выполняет средообразующие, климаторегулирующие, оздоровительные и иные полезные функции [1], а также выступает масштабной сырьевой базой для строительства и деревообрабатывающей промышленности. Важнейшую роль лес играет и в поглощении углерода, а в соответствии со Климатической доктриной Российской Федерации по переходу к 2060 году к углеродной нейтральности [2], эта роль становится ещё более значимой. В связи с этим согласно Стратегии развития лесного комплекса РФ до 2030 года значительно наращиваются темпы лесовосстановления и лесоразведения [3], соответственно, возрастают и затраты на лесной комплекс.

Одним из критериев эффективности управления лесным комплексом могло бы являться сравнение доходов государства от предоставления лесов в пользование с затратами, которые несёт федеральный бюджет на мероприятия по лесовосстановлению, лесоразведению, лесоустройству и инвентаризации лесов. Так по данным Счётной палаты РФ кассовые расходы Федерального агентства лесного хозяйства за 2023 год составили 56.672,4, в то время как доходы от лесного комплекса в федеральный бюджет составили 50.221,7 млн рублей, что ниже ожидаемых показателей на 4,7 % [6]. Но даже при достижении расчётных показателей превышение расходов над доходами бюджета составляет почти 4 млрд рублей. При этом доходы федерального бюджета от лесного комплекса с каждым годом растут стабильно на 7–8 % [7]. И тем не менее, напрашивается вывод, что лесные ресурсы в России используются недостаточно эффективно.

По итогам аудита деятельности уполномоченных органов по управлению земельными участками земель лесного фонда в 2023 и 2024 годах Счётной палатой были сформулированы некоторые предложения по увеличению эффективности использования земель лесного фонда. Палата обратила внимание на то, что ряд ставок по арендной плате не пересматривался с 2007 года, так плата за участки для ведения охотничьего хозяйства до сих пор составляет 3 копейки за 1 гектар в год [5]. Было предложено перейти к расчёту арендной платы на основании кадастровой стоимости. Уже сейчас, по мнению Счётной палаты, рост доходов бюджета от такого решения может составить почти 300 млн рублей [5]. Но стоит понимать, что для осуществления подобного перехода для начала необходимо наладить систему кадастровой оценки земель лесного фонда.

На данный момент в России действует единая методика кадастровой оценки для земель всех категорий, но в соответствии с сегментами, на которые делят земельные участки в соответствии с видом разрешённого использования, выделяют некоторые особенности. Так для сегмента 10 «Использование лесов» в главе X методических указаний о кадастровой оценке выделяется несколько абзацев. Однако, кадастровой оценке подлежат земельные участки, это прямо оговорено в методике, только с видом разрешённого использования «Заготовка древесины» [4]. Оценка остальных участков не выполняется. Во время осуществления процедуры определения кадастровой стоимости устанавливаются удельные показатели кадастровой стоимости единицы площади лесного участка в пределах одного лесничества, а затем исходя из полученного показателя рассчитывается кадастровая стоимость земельных участков с другими видами разрешённого использования. Это налагает определённые ограничения на объективность оценки земель лесного фонда.

Основой сведений для кадастровой оценки служат сведения, содержащиеся в ЕГРН, они предоставляются Роскадастром в рамках процедуры подготовки к проведению оценки. Однако, по данным всё того же аудита Счётной палаты, в основных реестрах Росимущества, Рослесхоза и Росреестра в отношении земель лесного фонда наблюдаются расхождения. Особенно страдает от недостатка данных реестр федерального имущества. В связи с чем, одним из предложений Счётной палаты стало разработать систему мероприятий по верификации сведений реестров вышеназванных органов исполнительной власти [5]. Недостаток сведений о лесных землях является проблемой, тормозящей развитие процедуры кадастровой оценки на землях лесного фонда.

Одной из основных проблем кадастровой оценки земель лесного фонда является то, что основной упор делается на земельные участки для заготовки древесины, а для остальных видов использования лесов методических указаний не предусмотрено, используется лишь моделирование на основе удельного показателя кадастровой стоимости по муниципальному району [4]. Также, возвращаясь к предыдущему абзацу, одним из ценообразующих факторов является местоположение земельного участка относительно населённых пунктов. И некоторые участки, до сих пор отнесённые к землям лесного фонда, но на самом деле давно им не являющиеся, при оценке могут вносить искажения в итоговые значения оценки, так как в конце концов общий удельный показатель стоимости рассчитывается на целое лесничество.

Но при этом, при улучшении методики оценки, с учетом дифференциации лесных участков по видам использования, могут помочь в более объективной оценке земель лесного фонда. На данный момент величина платы за пользование лесными участками установлена соответствующим Постановлением Правительства РФ ещё в 2007 году, с периодическим пересмотром ставок. Итоговая цена договоров аренды определяется на лесных аукционах, однако 95 % платежей проходят именно по минимальной ставке [5]. Каждый год Минприроды утверждает повышающие коэффициенты на будущий период, чтобы нивелировать эффект дисконтирования дохода от использования лесов. Однако, при просмотре утверждённых ставок становится заметно, что они отстают от официальных темпов инфляции (рис. 1), и несмотря на ежегодный номинальный рост доходов федерального бюджета в 7–8 %, на самом деле рост практически незаметен [5, 8].

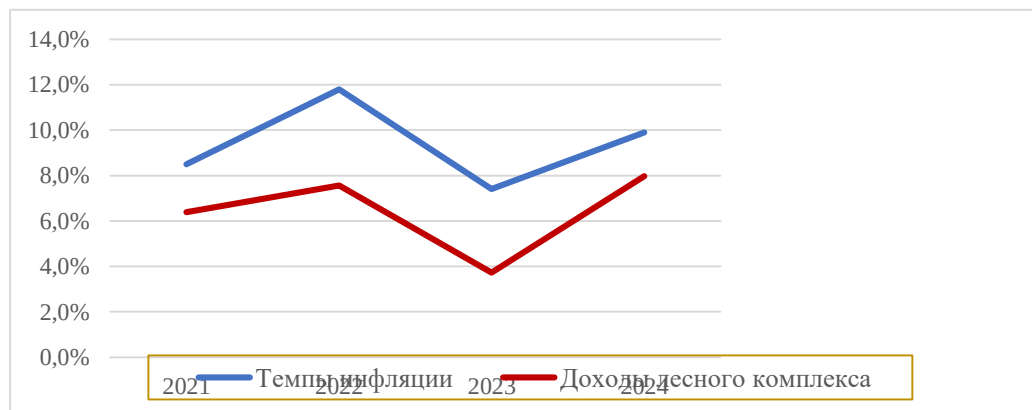


Рис. 1. Сравнение темпов инфляции и доходов лесного комплекса с 2021 по 2024 годы

Кадастровая стоимость в этом плане тоже не лишена изъянов, её определяют раз в несколько лет, что уже реже, чем ежегодный пересчёт коэффициентов Министерством природных ресурсов и экологии. Но при этом кадастровую стоимость определяют при каждом туре оценки заново, без оглядки на предыдущие результаты, что позволяет более объективно оценить состояние лесных участков и их истинную стоимость на момент оценки. Возможный синтез двух этих процедур, определение кадастровой стоимости и определение повышающих коэффициентов вплоть до следующего тура оценки, вполне могут повысить эффективность использования лесных ресурсов и доходы федерального бюджета.

Таким образом, можно сделать вывод, что на данный момент действующая система управления лесами в части взимания платы за пользование лесными участками устарела и не обеспечивает доходы бюджета в должном объёме, на данный момент лес – расходная часть федерального бюджета. В целях повышения эффективности использования лесов предлагается начать хотя бы частичный переход к определению ставок арендной платы, взяв за основу кадастровую стоимость лесных участков. Для этого необходимо расширить действующие методические указания о кадастровой оценке в части определения кадастровой стоимости земель лесного фонда, и рассмотреть возможность учёта других видов разрешённого использования лесов при оценке.

Литература

1. Лесной кодекс Российской Федерации от 04.12.2006 № 200-ФЗ [Электронный ресурс]. – Доступ из справ-правовой системы «КонсультантПлюс».
2. Указ Президента РФ от 26 октября 2023 г. № 812 «Об утверждении Климатической доктрины Российской Федерации» [Электронный ресурс]: Режим доступа <https://docs.cntd.ru/document/1303495708>.
3. Распоряжение Правительства РФ от 11.02.2021 № 312-р «Об утверждении Стратегии развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года» [Электронный ресурс]. – Доступ из справ-правовой системы «КонсультантПлюс».
4. Приказ Росреестра от 04.08.2021 № П/0336 (ред. от 11.09.2024) «Об утверждении Методических указаний о государственной кадастровой оценке» [Электронный ресурс]. – Доступ из справ-правовой системы «КонсультантПлюс».
5. Отчет о результатах контрольного мероприятия «Аудит деятельности уполномоченных органов по управлению земельными участками земель лесного фонда в рамках переданных полномочий в 2023 году и истекшем периоде 2024 года» [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://ach.gov.ru/checks/zemli-lesnogo-fonda>.
6. Заключение Счетной палаты Российской Федерации о результатах проверки исполнения Федерального закона «О федеральном бюджете на 2023 год и на плановый период 2024 и 2025 годов» и бюджетной отчетности об исполнении федерального бюджета за 2023 год в Федеральном агентстве лесного хозяйства (руководитель Федерального агентства лесного хозяйства И.В. Советников) [Электронный ресурс]: Режим доступа <https://ach.gov.ru>.
7. Рослесхоз: доходы от лесного хозяйства в бюджет России в 2023 году увеличились по сравнению с 2022 годом [Электронный ресурс]: Режим доступа <https://rosleshoz.gov.ru/news/federal/rosleskhoz-dokhody-ot-lesnogo-khozyaystva-v-byudzhete-rossii-v-2023-godu-uvelichilis-po-sravneniyu-s-2022-godom-n10835/>.
8. Инфляция и ключевая ставка Банка России [Электронный ресурс]: Режим доступа https://www.cbr.ru/hd_base/inf/.

ВИДЫ ОГРАНИЧЕНИЙ В ПЕРВОЙ И ВТОРОЙ ПОДЗОНАХ ПРИАЭРОДРОМНОЙ ТЕРРИТОРИИ НА ПРИМЕРЕ АЭРОПОРТА ГОРОДА ТОМСКА

Моисеева Н.А., Губанищева М.А.

Томский государственный архитектурно-строительный университет, Томск, Россия

Зоны с особыми условиями использования территорий устанавливаются особым правовым режим, который может предусматривать ограничение или запрет на строительство и использование объектов недвижимости, а также на осуществление отдельных видов деятельности, если они не соответствуют целям создания такой зоны. Следует отметить, что существует 28 видов зон с особыми условиями использования, среди которых рассмотрим приаэродромные территории [2]. Приаэродромные территории – это зоны вокруг аэродромов, в пределах которых устанавливается специальный правовой режим для обеспечения безопасности полётов, предотвращения помех для работы навигационных средств и радиотехнического оборудования, а также соблюдения санитарных норм и правил. В этих зонах могут быть ограничены или запрещены определенные виды деятельности, например, строительство высоких зданий, размещение промышленных предприятий, создание источников радио- и электромагнитных излучений, которые могут мешать работе аэронавигационного оборудования [1].

Приаэродромная территория подразделяется на семь подзон, для каждой из которых действуют определенные ограничения и правила застройки. Рассмотрим более подробно ограничения, которые действуют в границах 1 и 2 подзон (рис. 1).



Рис. Первая и вторая подзоны аэропорта Богашево [5]

Первая подзона предназначена для размещения только тех объектов, которые непосредственно связаны с управлением воздушным движением. Такие как метеорологические станции, системы предупреждений о столкновении, осветительные оборудования, радиолокаторы, диспетчерские вышки и другие важные объекты, предназначенные для обслуживания воздушных судов.

Первая подзона аэропорта является зоной высокой концентрации деятельности, связанной с безопасностью и эффективностью авиационных операций. Она предназначена исключительно для объектов, обеспечивающих управление воздушным движением, взлет, посадку, руление и стоянку воздушных судов. Ограничение на размещение посторонних объектов обусловлено несколькими важными причинами: безопасность; эффективность управления воздушным движением; ограниченное пространство; минимизация помех; мобильность и оперативность; соблюдение нормативных требований.

Вторая подзона предназначена для объектов, обслуживающих пассажиров, включая обработку багажа, а также для инфраструктуры, поддерживающей функционирование самолётов. Данная подзона аэропорта играет важную роль в функционировании всей авиационной инфраструктуры. Она предназначена для размещения объектов, связанных с обслуживанием пассажиров, обеспечением энергоснабжения и общей инфраструктурой аэропорта. Запрет на размещение посторонних объектов обусловлен рядом факторов: оптимизация потока пассажиров; энергосбережение и инфраструктура; логистика и транспортировка; экономическая эффективность; безопасность и охрана.

Важно отметить, что границы первой и второй подзон устанавливаются непосредственно по границам зданий, сооружений и конструкций технологического назначения территории, на которой выполняются полеты гражданской авиации. Эти подзоны регулируются законодательством Российской Федерации и предназначены для обеспечения безопасности полетов, предотвращения помех для работы навигационных систем и соблюдения санитарных норм [3].

Для внесения сведений о приаэродромной территории в Единый государственный реестр недвижимости подготавливается соответствующий проект решения и пояснительная записка с описанием границ. Данный проект подлежит санитарно-эпидемиологической экспертизе, после чего направляется в уполномоченный федеральный орган исполнительной власти на согласование [4]. После получения всех необходимых согласований сведения о границах приаэродромной территории направляются для внесения в Единый государственный реестр недвижимости (рис. 2).

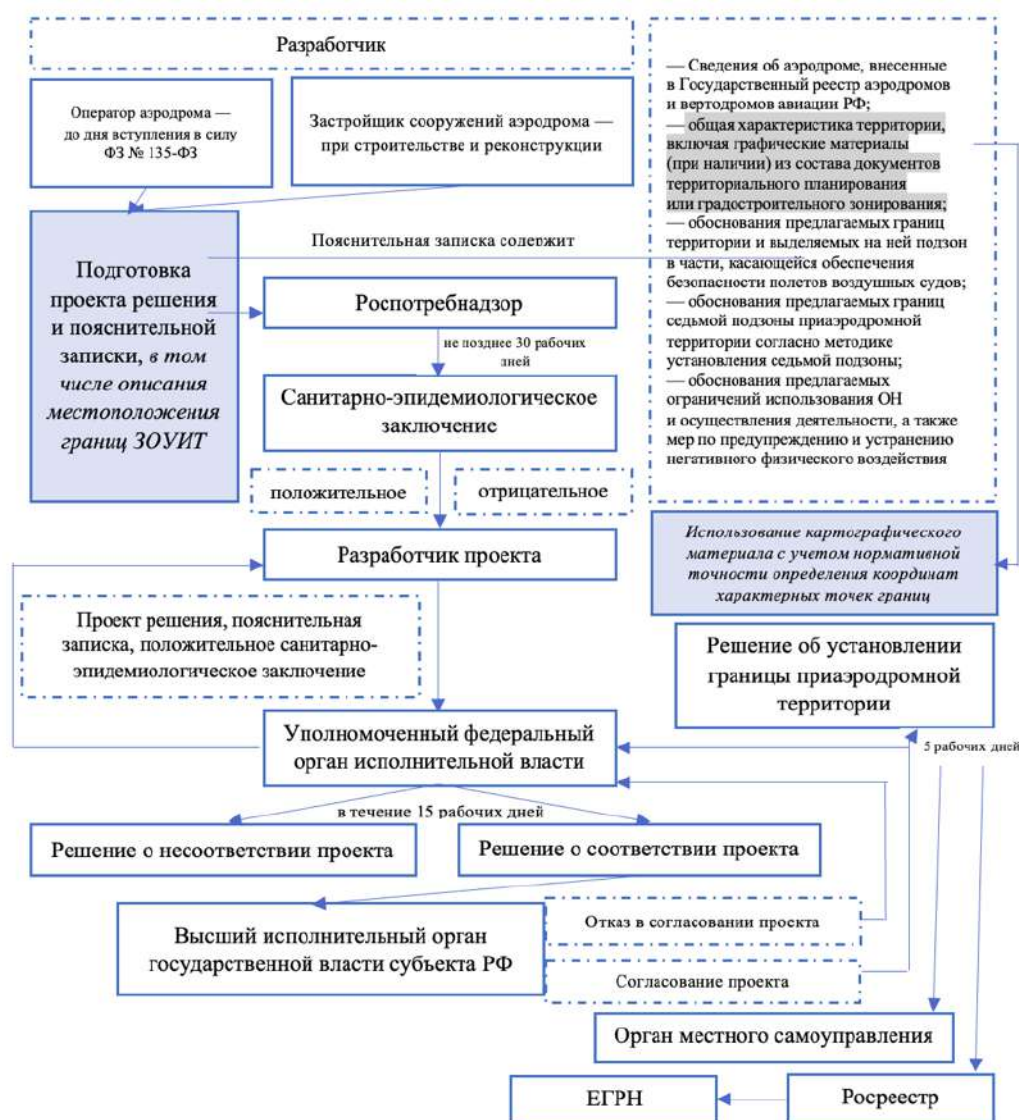


Рис. 2. Технологическая схема установления границ приаэродромных территорий

Таким образом, каждая подзона характеризуется специфическими ограничениями, определяемыми её функциональным назначением. Помимо различий в границах, обусловленных номерами подзон, особенности ограничений также зависят от расположения прилегающих к аэродрому территорий. Порядок установления границ приаэродромных территорий необходим в связи с правовым регулированием, устанавливаемыми ограничениями на использование земельных участков, их влиянием на правовой режим объектов недвижимости, внесением сведений в Единый государственный реестр недвижимости.

Литература

1. Воздушный кодекс Российской Федерации [Электронный ресурс] : федер. закон от 19.03.1997 г. № 60-ФЗ. – Доступ из справ.-правовой системы «Консультант Плюс».
2. Земельный кодекс Российской Федерации [Электронный ресурс] : федер. закон от 25.10.2001 г. № 136-ФЗ. – Доступ из справ.-правовой системы «Консультант Плюс».
3. Ивашкина И.В. Приаэродромные территории: Российские реалии и зарубежный опыт [Текст] / И.В. Ивашкина, Л.Я. Ткаченко, Н.К. Кирюшина // Градостроительство и планирование сельских населенных пунктов. – 2021. – №3. – С 91-102.
4. Министерство транспорта России. Федеральное агентство воздушного транспорта (Росавиация) [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <https://favt.gov.ru/deyatelnost-ajerodromy-i-ajerodromny-pri-aerodromnie-territorii/?id=3866>.
5. Портал пространственных данных Национальная система пространственных данных [Электронный ресурс] : – Режим доступа: https://nspd.gov.ru/#top_section.

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ВОД ТЕХНОГЕННЫХ ВОДОЕМОВ, СФОРМИРОВАННЫХ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ХОЛБОЛЬДЖИНСКОГО БУРОУГОЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Плюснин М.А.

Научный руководитель к.б.н. Чудинова О. Н.

*Восточно-Сибирский государственный университет технологий управления,
г. Улан-Удэ, Россия*

Холбольтжинское буроеугольное месторождение находится в Западном Забайкалье в юго-восточной части Гусиноозерской впадины мезозойского возраста на побережье озера Гусиное, которое имеет для региона большое рыбохозяйственное значение. Территория характеризуется среднегорным рельефом. Абсолютные отметки высот на месторождении от 550 до 650 м. Месторождение включает 20 угольных пластов мощностью от 2 до 53 м. Угли бурые гумусовые энергетической марки БЗ. Наиболее распространены полуматовые угли группы витринита. В виде примесей присутствуют каолинит, кальцит, слюда, кварц и пирит. Зольность сухого угля 3.8–29.3 %, влажность 13.9–36 %, общее количество серы в сухом угле 0.1–3.8 %. Добычные работы на месторождении велись с 1963 г. Холбольтжинским угольным разрезом. После закрытия разреза в 2000 году осталось 1596 га нарушенных горными работами земель, под отвалами вскрышных пород занято более 400 га, объем которых достигает 260 млн. м³. В результате выемки угля и сдвига вскрышных пород на площадке сформировалась котловина. В нее стекают поверхностные воды с окружающей территории и разгружаются подземные воды из водоносных горизонтов. В наиболее низких местах образовались техногенные водоемы. Химический состав воды, заключенной в водоемах, формируется под воздействием нескольких факторов и имеет полигенную природу. Целью исследования было определение химического состава воды, определение ее токсичности и оценка возможности негативного влияния на экологическое состояние озера Гусиное.

На техногенных водоемах проведены работы по определению объемов, заключенных в них вод и отобраны пробы для изучения химического состава. Работы по измерению размеров водоемов и отбору проб производились в зимний период, когда водоемы были покрыты льдом. Было отобрано 12 проб воды из 4 водоемов. В карьерах, образовавшихся при разработке угольных пластов 3,4,6 и 9, опробование проведено в нескольких местах, так как они имеют большие размеры и имеют неустойчивый гидрохимический режим.

Водоем в районе разработки 9-го угольного пласта имеет длину 610 м, наибольшая ширина составляет 140 м, глубина достигает 33 м (табл. 1). Водоем, сформировавшийся за счет карьерных вод 3-го угольного пласта, представляет собой цепочку связанных между собой трех узких прудов, вытянутых в субмеридиональном направлении, их общая длина составляет 680 м при максимальной ширине 80 м и максимальной глубине 14.2 м. В питании этого водоема определяющую роль играет разгрузка трещинно-жильных и пластовых вод глубинных водоносных горизонтов. Техногенный водоем, связанный с 4-м угольным пластом, расположен в южной части территории Холбольтжинского разреза. Длина водоема 410 м, максимальная ширина 110 м, глубина 12 м. Водоем длительное время не меняет свои размеры, его берега сглажены абразионными процессами, заросли камышом и др. водной растительностью.

Таблица 1

Морфометрическая характеристика техногенных водоемов

№ водоема	Абсолютная отметка поверхности воды, м	Длина, м	Ширина максимальная, м	Глубина максимальная, м	Площадь, м ²	Объем заключенной воды, м ³
3	534	680	80	14.2	60060	231525
4	579	410	110	12	56959	273026
9	586	610	140	33	149801	1400765

Значительный объем воды заключен в водоеме № 9, который располагается всего в 800 м от берега оз. Гусиное. Этот водоем представляет наибольшую опасность для экологического состояния озера, так как находится на 37 м выше уровня его поверхности. Водоем № 4, где заключено около трехсот тысяч кубических метров воды, также располагается выше поверхности оз. Гусиное на 30 м, но он находится на удалении 1750 м от его берега. Водоем № 3 располагается ниже поверхности озера Гусиное и заключенная в нем вода не может попасть в озеро.

Рассмотрим химический состав воды, заключенной в водоеме № 4 и № 9 (табл. 2).

По химическому составу вода в водоеме № 9 гидрокарбонатно-сульфатная натриево-кальциево-магниевая с минерализацией 1.8 г/л. В водоеме № 4 вода относится к гидрокарбонатно-сульфатному натриево-магниевому типу с минерализацией 2.5 г/л. По водородному показателю вода в водоемах слабощелочная (рН = 7.73, 8.14). Установлено высокое содержание фторид-иона, относящегося к третьей группе токсичности. Обращает на себя внимание присутствие в химическом составе воды большого количества сульфат-иона и магния, которые относятся к четвертой группе токсичности. По этим компонентам достигается максимальное превышение ПДК_{рхн}. В озере Гусиное вода относится к сульфатно-гидрокарбонатному кальциево-магниевому-натриевому типу, минерализация 0.4 г/л. Показатели основных параметров в озерной воде меньше ПДК_{рхн}, исключение составляет фторид-ион. Его высокие содержания в озере связаны, вероятно, с воздействием окружающих кристаллических пород [2].

Таблица 2
Макрокомпонентный состав воды, заключенной в водоемах, в сравнении с озером Гусиное, мг/л

№ водоема (количество проб)	pH	Na	Ca	Mg	HCO ₃	SO ₄	Cl	F	Общ. минер.	Формула Курлова
4 (3)	8.14	220	376	229	336	1480	68	1.23	2491	2.5 SO ₄ 81HCO ₃ 14 Ca48 Mg26Na25
9 (3)	7.73	170	153	130	639	676	39	0.84	1809	1.8 SO ₄ 55HCO ₃ 41 Mg42Ca29Na28
Оз. Гусиное	8.29	56.7	30.5	19.9	227.6	-	55	16.2	2.6	0.4 HCO ₃ 70 SO ₄ 21 Na44Mg29Ca27
ПДК _{рхн} [1]	-	120	180	40	-	100	300	0.75	-	
Класс опасности	-	4	4	4	-		4	3	-	

Исследование микроэлементного состава вод водоемов показало, что по некоторым параметрам наблюдается их интенсивное загрязнение (табл. 3).

Таблица 3
Содержание микроэлементов в техногенных водоемах, мкг/л

Химический элемент	Водоем		ПДК	Класс опасности	Озеро Гусиное
	№ 9	№ 4			
Li	171	205	80	4	18
Sr	10342	12873	400	3	859
Al	26.6	52.6	40	4	4
Mn	51.0	104.2	10	4	1.4
Fe	12.1	74.1	100	4	11.7
Cu	8.2	114.7	1	3	1.3
Zn	49.2	69.1	10	3	2.2
Pb	2.5	7.1	6	2	0.2
Mo	13.3	2.0	1	2	12.1

Из группы химических элементов, относящихся ко второму классу токсичности превышение ПДК_{рхн} наблюдается для молибдена и свинца. Молибден в значительных количествах присутствует также и в озерной воде, вероятно, он, как и фторид-ион, выщелачивается из окружающих озеро гранитных массивов [2]. Он устойчив в щелочных условиях, поэтому накапливается в озерной воде. Из группы, относящейся к третьему классу опасности, высокими содержаниями выделяются стронций, медь и цинк. Высокие концентрации этих элементов обнаруживаются и в озерной воде. Вероятно, загрязнение озера этими элементами связано с воздействием стоков с угольного разреза.

Заключение. При разработке Холбольдинского бурогоугольного месторождения в местах разработки угольных пластов сформировались техногенные водоемы больших размеров, в которых заключены воды, содержащие в своем составе ряд токсичных химических элементов. Необходимо оградить эти водоемы от случайного проникновения животных и людей. Нужно иметь в виду, что залповый выброс больших объемов этих вод в озеро Гусиное может нанести ущерб рыбным ресурсам. Необходимо предусмотреть мероприятия по исключению даже малейшей возможности развития ситуации по этому сценарию. Для этого возможно следует перекачать воду из водоема № 9 в нижнюю часть техногенной котловины.

Литература

1. Приказ Министерства сельского хозяйства РФ от 13 декабря 2016 г. № 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах объектов рыбохозяйственного значения».
2. Скрипкина В.В., Верник В.Л., Рейф Л.И. Новая вулканическая структура с молибденовой минерализацией в Западном Забайкалье // Доклады академии наук СССР. – 1982. – Т. 264, – № 6. – С. 35-46.

ОСОБЕННОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ОЗЕР И ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА ВОДОСБОРНОЙ ПЛОЩАДИ ИСТОЧНИКА ЕРЮЮ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ

Полубелова А. В.^{1,2}

Научный руководитель ведущий научный сотрудник Н.А. Павлова²

¹Северо-восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск, Россия

²Институт мерзлотоведения им П.И. Мельникова СО РАН, Якутск, Россия

В Центральной Якутии на правом берегу р. Лены в устье IV бестяхской надпойменной террасе происходит круглогодичная разгрузка пресных межмерзлотных вод [1-3]. Одним из таких наледообразующих источников

является Ерюю, который формирует одноименный ручей. Он расположен на левом берегу р. Таммы – правого притока р. Лены. Средний суммарный дебит источника 39–43 л/с [2]. На данный момент предполагается, что его основное питание обеспечивается озерными водами [6]. Целью выполненных исследований явилось изучение современного химического состава источника Ерюю и гидрохимической обстановки на его водосборной площади (рис. 1). Для этого были проанализированы материалы полевых мерзлотно-гидрогеологических исследований сотрудников Института мерзлотоведения за 1965–2024 гг., ПГО «Якутскеология» за 2004–2005 гг.

Все поверхностные и подземные воды в пределах рассматриваемого района по анионному составу гидрокарбонатные (здесь и далее название химического класса и типа дано по преобладающим компонентам с содержанием более 20 %-экв) и практически бессульфатные (рис. 2). В распадке, образованном источником Ерюю, родники отличаются по катионному составу. В верховье распадка минерализация воды, образующейся в теплый период года за счет таяния льда сезонных бугров пучения, составляет 40–110 мг/л, pH 5.5–7.2. Доли участия главных катионов в ее химическом составе примерно одинаковые. Аналогичный состав имеют надмерзлотные воды сезонноталого слоя на водосборной площади озер и вода р. Тамма в половодье и начале лета.



Рис. 1. Исследуемый участок.

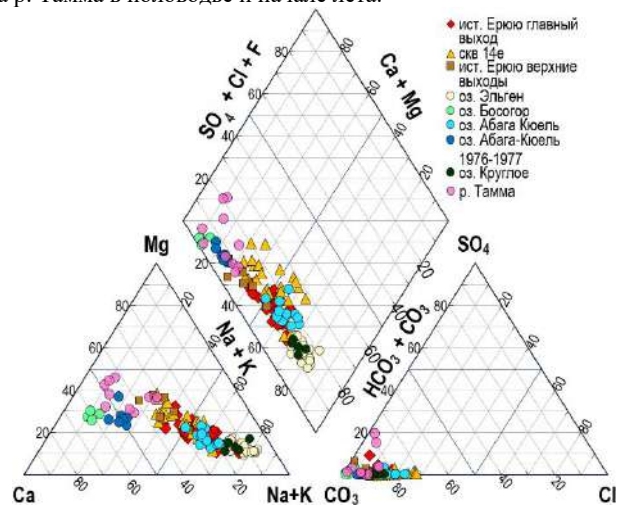


Рис. 2. Пайпер-диаграмма химического состава подземных вод, озер и ист. Ерюю.

На нижнем участке долины руч. Ерюю происходит восходящая (в виде грифонов) разгрузка межмерзлотных вод. Минерализация их осенью 120–226 мг/л, а в конце зимы 211–392 мг/л, pH воды 7.2–7.8. Сезонные изменения в химическом составе источников происходят, в основном, за счет перераспределения гидрокарбонат- и хлорид-ионов: в течение зимы доля первого из них постепенно уменьшается от 91 до 87 %-экв, а второго возрастает от 9 до 13 мг-экв. %. Изменяется и содержание натрия: от 40–55 %-экв летом и осенью до 55–78 %-экв в конце зимы. На доли магния и кальция приходится 16–24 и 20–30 %-экв соответственно. В начале июля в отдельных родниках минерализация воды достигает 480–538 мг/л, а содержание натрия приближается к 87 мг-экв. %. Такая же гидрохимическая особенность была отмечена Н.П. Анисимовой в 1975 г. [1]. Вероятно, столь высокая минерализация воды в это время связана с разгрузкой подземных вод из изолированных в процессе зимнего промерзания частей талика. Межмерзлотные воды аналогичного состава вскрыты скважиной в 5 м от бровки террасы в песчано-гравийно-галечниковых отложениях и песчаниках в интервале глубин 53–76 м. Воды нисходящих родников, расположенных между верховьем распадка и нижним участком долины руч. Ерюю, Их химический состав отражает средний состав подземных вод верхнего и нижнего участков.

Наблюдения за уровнем и химическим составом межмерзлотных вод проводятся в скважинах 14Е и 16Е, пробуренных между оз. Абага-Кюель и источником Ерюю, с 2014 по 2024 г. Скважинами вскрыт межмерзлотный водоносный горизонт на глубине 13 м. Подземные воды обладают небольшим напором (0.7–1.8 м). Минимальные глубины залегания их уровня отмечаются в сентябре, при максимальной мощности слоя сезонного протаивания пород, затем до конца мая уровень воды повышается. Годовой диапазон колебаний уровня составляет 0.3–0.5 м.

Минерализация межмерзлотных вод, вскрытых скважинами, 120–246 мг/л, pH 7.0–7.9, катионный состав смешанный (с преобладанием натрия – 35–65 %-экв). Выраженной сезонной изменчивости в концентрации химических элементов в воде не прослеживается. Близкий состав межмерзлотных вод с составом родников в средней части распадка Ерюю позволяет предположить, что вблизи скважин 14Е и 16Е имеется надмерзлотный субаральный талик, воды которого участвуют в питании межмерзлотного водоносного горизонта.

На поверхностном водосборе источника Ерюю расположены три озера. Величина минерализации их воды изменяется в течение года. На ее формирование влияют процессы испарения летом и криогенного концентрирования зимой. Максимальна она зимой, а минимальна весной и осенью. Минерализация воды оз. Абага-Кюель в среднем равна 255 мг/л, реакция водной среды нейтральная. По химическому составу вода озера схожа с ист. Ерюю. Согласно данным 1976–1977 гг. [3], минерализация воды оз. Абага-Кюель в эти годы в среднем составляла около 180 мг/л. Содержание в воде гидрокарбонат-ионов превышало 95 %-экв. По катионному составу вода была смешанной, с преобладанием кальция и примерно равными долями натрия и магния. Оз. Эльген расположено в 550 м юго-восточнее оз. Абага-Кюель. Его вода самая минерализованная (328 мг/л) из изучаемых озер. По анионному составу воды оз. Эльген и Абага-Кюель близки, но отличаются по содержанию катионов (табл).

Оз. Босогор находится в 750 м юго-восточнее оз. Эльген. Его средняя минерализация 181 мг/л. Доминирование в его химическом составе гидрокарбонат-иона и кальция выделяет оз. Босогор на фоне остальных озер. Его современный химический состав близок с составом оз. Абага-Кюель 1970-х годов.

В 700 метрах на юго-восток от ист. Ерюю расположено оз. Круглое. Вода этого озера обладает повышенной минерализацией, в среднем 357 мг/л, и имеет сходный химический состав с оз. Эльген и источником Ерюю, что не исключает субаквальную разгрузку межмерзлотных вод в это озеро.

Минерализация воды в р. Тамма в период снеготаяния составляет 60 мг/л, в течение лета изменяется в пределах 120–170 мг/л и увеличивается до 210 мг/л зимой. Химический состав воды гидрокарбонатный магниевый, pH = 6.8–7.5.

Таблица

Характеристика озер на поверхностном водосборе источника Ерюю

Название озера	Высотная отметка уреза воды, м	Максимальная глубина, м	Площадь водного зеркала, км ²	Минерализация, г/дм ³ min-max	Ионный состав (%-экв)	pH min-max
Абага-Кюель (2007-2024)	119	2.5	0.16	165-410	$\frac{HCO^{-}84 Cl^{-}16}{(Na^{+} + K^{+})66 Ca^{2+}20 Mg^{2+}14}$	6.9-8.0
Абага-Кюель (1976-1977)	нет данных	1.5	0.006	122-228	$\frac{HCO^{-}94 Cl^{-}6}{Ca^{2+}47 Mg^{2+}27 (Na^{+} + K^{+})26}$	7.0-8.3
Эльген	119	4.5	0.24	233-440	$\frac{HCO^{-}88 Cl^{-}12}{(Na^{+} + K^{+})82 Mg^{2+}11 Ca^{2+}7}$	7.5-8.1
Босогор	124	1.5	0.15	157-243	$\frac{HCO^{-}99}{Ca^{2+}61 Mg^{2+}26 (Na^{+} + K^{+})13}$	7.3-7.9
Круглое	105	4.5	0.03	236-450	$\frac{HCO^{-}88 Cl^{-}12}{(Na^{+} + K^{+})75 Ca^{2+}13 Mg^{2+}12}$	7.3-8.5

Таким образом, в верхней части распадак источника Ерюю формирование химического состава происходит за счет смешения вод межмерзлотного талика с водой вытравливающих сезонных бугров пучения. Ниже по течению в долине ручья родники имеют химический состав, сходный с современным составом озер Абага-Кюель, Эльген и воды из скважины 14Е. Такой же состав у воды оз. Круглое. Это позволяет предполагать, что разгрузка межмерзлотных вод не ограничивается распадком руч. Ерюю и может происходить субаквально в озера в пойме р. Тамма. Выявлено, что за последние 50 лет произошла трансформация химического состава воды оз. Абага-Кюель. Вероятно, это связано с увеличением размера озера и мощности талика под ним, что привело к появлению гидравлической связи поверхностных и межмерзлотных вод. Оз. Босогор не связан с межмерзлотным таликом, воды которого образуют ист. Ерюю. Из-за незначительной глубины этого озера подоцерный талик под ним также обладает небольшой мощностью и не достигает кровли межмерзлотного водоносного горизонта.

Литература

1. Анисимова Н.П. Особенности гидрохимического опробования источников в области распространения многолетнемерзлых пород [Текст] / Н.П. Анисимова // Методика гидрогеологических исследований криолитозоны. – Новосибирск: Наука, 1983. – С. 57-63.
2. Семерня А.А. Оценка ресурсов межмерзлотных вод в Центральной Якутии по данным наблюдений за родниковым стоком (на примере источника Ерюю) [Текст] / А.А. Семерня // Наука и образование. – 2016. – № 2. – С. 41-47.
3. Шепелев В.В. Озера криолитозоны бестяхской террасы р. Лены и их взаимосвязь с подземными водами [Текст] / В.В. Шепелев, Н.С. Ломовцева // Тематические и региональные исследования мерзлых толщ северной Евразии. – Якутск: Институт мерзлотоведения СО АН СССР, 1981. – С. 106–115.

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ, СВЯЗАННЫЕ С РАЗРАБОТКОЙ СХЕМЫ РАСПОЛОЖЕНИЯ ЗЕМЕЛЬНОГО УЧАСТКА НА КАДАСТРОВЫЙ ПЛАНЕ ТЕРРИТОРИИ

Раскошная Э.В.

Научный руководитель доцент Н.В. Кончакова

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Развитие территории населенных пунктов напрямую связано с формированием новых земельных участков. Согласно Земельному Кодексу Российской Федерации, существует несколько способов образования земельных участков: раздел, объединение, перераспределение, образование из неразграниченных земель, а также выдел земельного участка с сохранением исходного в измененных границах [4].

Схема расположения земельного участка на кадастровом плане территории подготавливается при подаче заявления в орган местного самоуправления для образования земельного участка из земель, государственная собственность на которые не разграничена, либо при перераспределении существующего земельного участка с такими землями. Утвержденная Схема расположения земельного участка является документом-основанием при

последующей подготовке межевого плана кадастровым инженером, для постановки такого участка на кадастровый учет и внесения сведений о нем в Единый государственный реестр недвижимости. Таким образом, подготовка Схемы расположения земельного участка является важным этапом при формировании земельного участка. Документ, разработанный с нарушением нормативных предписаний, является причиной неэффективной работы органов местного самоуправления, рассматривающих данное обращение, поскольку несоответствие Схемы требованиям действующего законодательства является одним из оснований для отказа в согласовании такой Схемы, которого можно было бы избежать [7]. Требования к подготовке Схемы регламентируются Приказом Росреестра от 19.04.2022 № П/0148 «Об утверждении требований к подготовке схемы расположения земельного участка или земельных участков на кадастровом плане территории и формату схемы расположения земельного участка или земельных участков на кадастровом плане территории при подготовке схемы расположения земельного участка или земельных участков на кадастровом плане территории в форме электронного документа, формы схемы расположения земельного участка или земельных участков на кадастровом плане территории, подготовка которой осуществляется в форме документа на бумажном носителе» [7], который является методической основой для подготовки данного документа [9].

Как уже было сказано ранее, одной из причин для отказа в согласовании Схемы расположения земельного участка на кадастровом плане территории при оказании государственной услуги по перераспределению земельного участка, либо по его образованию является несоответствие Схемы требованиям (подпункт 1 пункта 8 статьи 39.15, подпункты 11, 12 пункта 9 статьи 39.29 Земельного Кодекса Российской Федерации) [4].

На основании анализа подготовленных отказов в предварительном согласовании предоставления земельного участка, а также отказов в согласии о перераспределении земельного участка Департаментом градостроительного развития Томской области в период с августа 2024 года по март 2025 года было выявлено, что около 50% отказов в согласовании Схем связано с несоответствием данного документа требованиям Приказа [8].

Рассмотрим распространенные ошибки, возникающие при подготовке Схем расположения земельных участков на кадастровом плане территории.

В соответствии с пунктом 4 Приказа Росреестра от 19.04.2022 № П/0148 Схема расположения земельного участка подготавливается на основе сведений правил землепользования и застройки, утвержденных на территорию, в границах которой предполагается образование земельного участка. Ошибки, связанные с данным пунктом: перераспределение участка, вид разрешенного использования которого не соответствует данной территориальной зоне; формирование земельного участка с оставлением неразграниченных земель между границами образуемого земельного участка и смежных с ним земельных участков (чересполосица); несоответствие площади образуемого земельного участка установленным предельным минимальным или максимальным размерам. Также данный пункт включает в себя требования к подготовке Схемы с учетом границ зон с особыми условиями использования территории, границ земель общего пользования (красных линий), актуальных сведений Единого государственного реестра недвижимости. При несоблюдении установленных предельных минимальных расстояний до крайних проводов линий ВЛ [6], или же при расположении земельного участка в границах береговой полосы [3] Схема будет подготовлена с нарушением требований [7]. Иногда при подготовке Схемы не учитываются актуальные сведения о границах существующих земельных участков и объектов капитального строительства из Единого государственного реестра недвижимости.

В соответствии с пунктом 6 Приказа Росреестра от 19.04.2022 № П/0148 на Схеме должна быть указана информация об органе, утверждающем Схему. Иногда встречаются ошибки в наименовании органа, или в наименовании вида документа. Например, при поступившем заявлении в Департамент градостроительного развития Томской области на Схеме можно увидеть «Утверждена приказом Департамента градостроительного развития Администрации города Томска» вместо «Утверждена распоряжением Департамента градостроительного развития Томской области». Достаточно поверить актуальность информации на сайте органа, предоставляющего государственную или муниципальную услугу, чтобы избежать данной ошибки [8]. Большое количество ошибок связано с неверным отображением условных обозначений, отображение которых также закреплено пунктом 6 Приказа Росреестра от 19.04.2022 № П/0148. На Схеме должны быть отображены границы образуемого земельного участка и существующих земельных участков. В Схемах, отображающих перераспределение земельного участка, часто граница образуемого земельного участка указана цветом только частично по границе перераспределяемой территории, однако граница всего образуемого нового участка должна быть отображена на Схеме и читаема. Иногда случаются технические ошибки, и расположение границы в графической части не соответствует списку координат, представленных в текстовой части Схемы, что также является нарушением требований. В Схеме при отображении характерных точек используется сквозная нумерация, вместе с тем часто в Схемах кадастровые инженеры используют практику подготовки межевых планов, в которых отображение новых характерных точек границы земельного участка отличается от обозначения характерных точек существующих границ. В связи с чем, происходит путаница в условных обозначениях и списке координат в текстовой части, расхождения в обозначениях, что также является ошибкой. Кроме этого, бывают ошибки в площади земельного участка, когда в текстовой части Схемы приведено одно значение, в то время как при внесении координат в ГИС-систему органа, рассматривающего заявление, площадь полигона образуемого земельного имеет другое значение.

Еще одной распространенной ошибкой при подготовке Схем является неряшливость в оформлении документа, в части формирования списка координат характерных точек границы. Наименование столбика с «обозначением характерных точек границы» приводят самые различные, но только не в соответствии с требованиями нормативного акта. В приложении к Приказу Росреестра от 19.04.2022 № П/0148 есть образец составления оформительской части Схемы, которого надлежит придерживаться.

Иногда поступают в работу Схемы, разработанные без использования картографической основы, что также является нарушением пункта 7 Приказа Росреестра от 19.04.2022 № П/0148. Схема должна быть подготовлена с

использованием ортофотоплана, либо топографического плана. Отсутствие картографической основы приводит к искажению информации о границах земельного участка и расположении объектов. Такую Схему орган местного самоуправления не может согласовать.

В заключение можно отметить, что качественная подготовка Схем расположения земельных участков на кадастровом плане территории содействует продуктивной работе органа, предоставляющего государственную услугу по согласованию Схем, удовлетворению потребностей заказчика и эффективной работе кадастровых инженеров.

Во избежание проблем при разработке схем расположения земельных участков следует проводить первичный анализ нормативной документации, как федерального, так и местного значения, использовать актуальные сведения кадастрового учета, также подробно консультировать заказчика кадастровых работ для исключения недостаточности информации об образуемом земельном участке в части земельного законодательства.

Четкое следование нормативным актам, регламентирующим подготовку документации, в том числе и регламентов органов исполнительной власти (куда в дальнейшем поступит заявление с подготовленной Схемой) [1, 2], позволит повысить качество и скорость приведения земельных отношений в соответствии с законодательством в части образования земельных участков из земель, находящихся в государственной собственности или при перераспределении земельных участков с такими землями.

Литература

1. Административный регламент предоставления государственной услуги «Перераспределение земель и (или) земельных участков, государственная собственность на которые не разграничена, и земельных участков, находящихся в частной собственности» [Электронный ресурс]: Приказ Департамента градостроительного развития Томской области от 06.11.2024 № 45. – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
2. Административный регламент предоставления государственной услуги «Предварительное согласование предоставления земельного участка, государственная собственность на который не разграничена» [Электронный ресурс]: Приказ Департамента градостроительного развития Томской области от 13.09.2024 № 31. – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
3. Водный кодекс Российской Федерации [Электронный ресурс]: федер. закон от 03.06.2006 № 74-ФЗ. – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
4. Земельный кодекс Российской Федерации [Электронный ресурс]: федер. закон от 25.10.2001 № 136-ФЗ. – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
5. Мурина О.В. Технологии работ по проверке и утверждению схем перераспределения земель [Текст] / О.В. Мурина, А.В. Дубровский // Регулирование земельно-имущественных отношений в России: Правовое и геопространственное обеспечение, оценка недвижимости, экология, технологические решения. – 2023. – № 3 – С. 103-107.
6. Об утверждении правил устройства электроустановок (вместе с "Правилами устройства электроустановок (ПУЭ). Издание седьмое. Раздел 2. Передача электроэнергии. Главы 2.4, 2.5 [Электронный ресурс]: Приказ Минэнерго России от 20.05.2003 № 187 (ред. от 20.12.2017) – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
7. Об утверждении требований к подготовке схемы расположения земельного участка или земельных участков на кадастровом плане территории и формату схемы расположения земельного участка или земельных участков на кадастровом плане территории при подготовке схемы расположения земельного участка или земельных участков на кадастровом плане территории в форме электронного документа, формы схемы расположения земельного участка или земельных участков на кадастровом плане территории, подготовка которой осуществляется в форме документа на бумажном носителе [Электронный ресурс]: Приказ Росреестра от 19.04.2022 № П/0148 (ред. от 22.10.2024) – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
8. Официальный сайт Департамент градостроительного развития Томской области [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://dgr.tomsk.gov.ru/>.
9. Досудебные экспертные заключения в земельных спорах и судебная землеустроительная экспертиза: современные проблемы [Электронный ресурс]: учеб. пособие / сост. Г. В. Савенко – М : Infotropic Media, 2018. – Заглавие с титульного экрана. – Электронная версия печатной публикации. – Доступ из электронно-библиотечной системы Лань, схема доступа: <https://e.lanbook.com/book/234167>.

ПРОБЛЕМЫ АДЕКВАТНОСТИ ПЕРЕВОДА МЕТАФОРИЧЕСКИХ ТЕРМИНОВ В ГИДРОЭКОЛОГИИ С АНГЛИЙСКОГО НА РУССКИЙ

Улаева С.С.

Научный руководитель доцент Н.В. Полякова

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

В данной работе рассмотрен вопрос, посвященный адекватности специального перевода при работе с метафорическими терминами и дефинициями в контексте экологии и гидроэкологии в связи с возросшим интересом к благополучному функционированию человека, а также с целью конкретизации вопросов межкультурной коммуникации в рамках этих сфер жизни человека.

Вот уже несколько десятилетий важным пунктом мировой повестки является тема глобализации и ситуаций с ней связанных. Глобализационных процессов происходит множество и с разными скоростями в таких крупных сферах, как финансы, экономика, миграционные и культурные процессы, а также экология. Благодаря масштабным энвайронменталистским движениям (environment – окружающая среда) значительное количество научных, научно-

популярных работ и пропаганда подготовили общественное и научное сознание к тому факту, что человек и природа тесно взаимосвязаны. Миграционные и культурные процессы в свою очередь представляют актуальными вопросы межкультурной коммуникации, в том числе в области экологии, и гидроэкологии, в частности [2]. Об этом свидетельствуют различные выступления так называемых «зеленых» активистов, введение новых и ужесточение старых законопроектов в области охраны окружающей среды, освещение таких проблем, как загрязнение всемирного океана и нехватка базового элемента существования практически всех живых существ на Земле – пригодной для потребления пресной воды, составляющей лишь 3 % от общего объема мировых вод.

Следует отметить, что Российская Федерация не осталась в стороне и Указами Президента РФ (от 10 августа 2012 года № 1157 и от 05 января 2016 года № 7) 2013 год был объявлен годом охраны окружающей среды, а 2017 год – годом экологии соответственно.

Как следствие всей совокупности факторов, общение с зарубежными коллегами вербальными и письменными средствами потребовало изучения различных дефиниций и неологизмов, а также элементарного расширения словарного запаса по экологической и гидроэкологической тематике. Таким образом один из процессов глобализации сформировал задачу «формата инь-ян»* (рис. 1): появилась необходимость в междисциплинарных специалистах, которые бы владели одновременно инженерными и гуманитарными (лингвистическими) компетенциями. Даже не взирая на популярность и почти общемировое признание английского языка как международного, погрузиться в этимологию специальной лексики – задание для обывателя очень непростое.

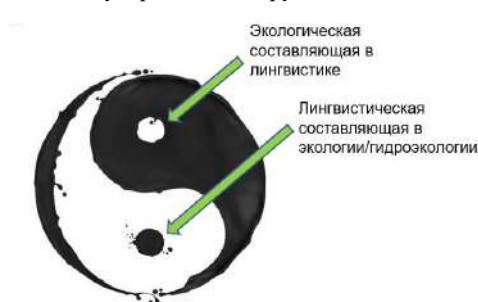


Рис. 1. Схематичное изображение взаимосвязи деятельности экологов (гидроэкологов) и лингвистов в условиях глобализационных процессов

Целью данной работы является освещение необходимости проработки навыков адекватного перевода для лингвистов, не работающих в инженерном поле и, наоборот, для инженеров, использующих иностранный язык в учебе и работе.

Задачей является наглядная демонстрация возможных ошибок и возможности/невозможности произвести адекватный перевод той или иной номинации в контексте экологии/гидроэкологии.

Термин «перевод» может применяться для обозначения как самого процесса перевода, так и его результата – устного высказывания или письменного текста. При переводе, таким

образом, происходит передача информации, первоначально выраженной на одном языке, средствами другого языка, или, как принято говорить, межъязыковая трансформация устного или письменного речевого перевода произведения [3].

В целом выделяют два вида перевода: художественный и специальный. Первый функционирует в сфере художественной

литературы, опираясь на литературоведчески-ориентированную теорию, а второй, специальный, базируется на лингвистической теории перевода и занимается прежде всего решением задач информационно-коммуникативных. Эти задачи включают в себя работу с различными отраслями знаний, которые имеют специфическую терминологическую номенклатуру [3].

Понятие адекватного (эквивалентного) перевода применяется в межъязыковой передаче произведений художественной литературы и определяется обычно как сохранение единства формы и содержания подлинника при воссоздании их средствами языка перевода. В схожем значении в отечественной переводческой литературе использовались так же термины «полноценный перевод» (А.В. Федоров) и «реалистический перевод» (И.А. Кашкин). Именно такой тип перевода признается наиболее правильным современными теоретиками художественного перевода, считающими, что «плохой переводчик тянет к себе, хороший стремится к автору» [3].

Говоря о семантических переходах (изменениях значений слов), следует принять во внимание, что человеческая способность связывать понятия в некую связь или взаимодействие почти безгранична. В силу этой способности человек нередко переосмысливает непонятное слово (например, иностранное), как бы «корректируя» его и начиная видеть в слове понятные ему морфемы, некоторую внутреннюю осмысленность и мотивированность. Этот процесс можно обозначить как «народная этимология» [1].

В рамках гидроэкологии активно используются метафорические термины, дефиниции и словосочетания (например, water stress, ecological footprint, blue economy), что значительно усложняет перевод для неэкологических специалистов. Перевод зачастую усложняется еще из-за образности и специфики культуры, в которой этот термин или выражение были «изобретены». В итоге неадекватный (неверный) перевод становится препятствием в междисциплинарном взаимодействии, блокирует или значительно замедляет процессы [4].

В качестве примера выбор автора пал на словосочетание в заголовке новостной статьи, попавшем в поле зрения во время ознакомления с зарубежным сайтом, предоставляющим морские услуги: «MARITIME TAPESTRY» [5].

После несложных поисков и рассуждений можно выяснить, что «maritime» происходит от латинского слова «maritimus» (морской), «mare» (море) и используется для описания всего, что связано с морем, морской навигацией или деятельностью. «Tapestry» происходит от старофранцузского «tapiserie» (гобелен, тканое полотно), которое, в свою очередь, восходит к латинскому «tapetum» (ковер, покрывало). Гобелены исторически использовались для украшения и повествования историй через изображения.

Перевести буквально словосочетание «maritime tapestry», таким образом, можно как «морской гобелен» или «морское тканое полотно», т.е. художественное произведение, изображающее морские сцены, пейзажи, истории мореплавателей. Метафорически это может означать «сложную морскую историю» или «многослойную, пеструю

картину морской жизни» и относиться к культурным, историческим или экологическим аспектам, связанным с морем.

Выбранное словосочетание включает в себя 2 компонента: конкретный (maritime) и абстрактный (tapestry). Это расширяет ареал использования данного словосочетания и использования его как в прямом, так и в переносном смысле. Как следствие, это дает понимание, что очень важно учитывать контекст повествования и очень внимательно подходить к выбору соответствующего варианта перевода при наличии незнакомых слов, терминов и словосочетаний во избежание неточностей или искажения смысла в целом. Необходимо помнить, что многие термины произошли от первичных номинаций тех вещей и событий, которые были увидены человеком впервые много десятков лет назад. Некоторые из этих неологизмов так и остались в своей форме и значении, а другие претерпели значительные изменения с течением времени [4].

Таким образом, основными направлениями деятельности для упрощения процессов перевода специальной лексики и ее систематизации видятся следующие:

1. Перевод метафорических дефиниций требует нахождения баланса между точностью, образностью и культурными особенностями языка.
2. Необходима организация переводоведческих процессов, формирование и разработка подходов и стандартов (желательно международных) при совместном участии гидроэкологов и лингвистов.

Литература

1. Зализняк А. Из заметок о любительской лингвистике / Андрей Зализняк. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : Альпина нон-фикшн, 2024. – 208 с.
2. Кирьянова Л.Г. Общество в контексте глобально-локальных отношений. – Томск: Дельтаплан, 2007. – 136 с.
3. Нелюбин Л.Л. Переводоведческая лингводидактика: учеб.-метод. пособие / Л.Л. Нелюбин, Е.Г. Князева. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Флинта: Наука, 2009. – 320 с.
4. Харари Ю.Н. Sapiens. Краткая история человечества/ Юваль Ной Харари; [пер. с англ. Л. Сумм]. – М. : Синдбад, 2022. – 512 с. : ил. (ISBN 978-5-90683-762-2)
5. Seas Shipping [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.7ssegyp.com/2024/02/09/unveiling-the-maritime-tapestry-exploring-the-roles-of-key-industry-players>, свободный – (20.02.2025)

ГАЗОВЫЙ СОСТАВ НИЖНЕЙ ЧАСТИ ЗОНЫ АЭРАЦИИ В РАЙОНЕ СОДОВЫХ ОЗЕР ВЕРХНЕЕ БЕЛОЕ И НИЖНЕЕ БЕЛОЕ Черниговский Р.С.

Научный руководитель д.г.-м.н. А.М. Плюсин
Геологический институт им. Н.Л. Дobreцова СО РАН, г. Улан-Удэ, Россия

Исследования условий формирования химического состава вод содовых озер проводятся многими учеными России. Ведущая модель формирования химического состава содовых вод представляет собой взаимодействие воды с горными породами. В результате гидролиза в раствор переходят катионы кальция и магния. Достигая геохимического барьера, они высаживаются из раствора, в результате образования кальцита и монтмориллонита, которые связывая эти элементы, затрудняют их концентрирование в водном растворе, и тем самым обеспечивают относительный рост концентрации натрия [1].

Анионный состав образуется за счет разложения органического вещества, образующего углекислый газ. И в результате растворения углекислого газа в воде образуется гидрокарбонатные и карбонатные ионы. Между тем на территории Забайкалья существует аномальный поток углекислого газа, который может приносить в своем составе ряд химических элементов [2,3].

Нами были проведены исследования газового состава в нижней части зоны аэрации в районе содовых озер Верхнее Белое и Нижнее Белое. Озера расположены в Западном Забайкалье в Боргойской впадине мезозойского возраста. Впадина выполнена мощными толщами эффузивно-осадочных пород, переслаивающихся между собой. В районе озер на поверхность выходят покровы шошонитовой серии лав (трахиандезиты) мощностью 120 м. Развитие Боргойского магматического очага привело к формированию во впадине щелочно-известковых основных пород ряда кринанит-гленмуирит-куямит, слагающих тела типа лакколлитов, силлов, даек. Минералогический состав кринанитов следующий: оливин, моноклинный пироксен, плагиоклаз, щелочной полевой шпат, анальцит, натролит, биотит, боулингит, раскристаллизованное стекло, апатит и рудные минералы.

Территория Боргойской степи характеризуется аридным и семиаридным климатом. Координаты озера Верхнее Белое – N 50°37.986', E 105°44.544', высота над уровнем моря 606 м. Площадь водного зеркала составляет по разным оценкам от 3 до 4.5 км², средняя глубина 0.85 м, максимальная – 2.7 м. Озерный бассейн не имеет стока и характеризуется смешанным типом водно-минерального питания, которое происходит как за счет атмосферных осадков, вымывающих соли из почв и горных пород водосбора, так и за счет родников и ручья Холой, впадающего в него с севера. Воды озера относятся к соленым, их минерализация, варьирует от 16 г/л летом до 22 г/л зимой, значения pH изменяются от 9.6 до 9.8 соответственно [4]. Озеро Нижнее Белое удалено на 2 км южнее от озера Верхнее Белое. Глубина озера составляет 1.5–2 м. Минерализация воды 4,57 г/дм³, pH – 9,6. Вода прозрачная, видимость составляет до 1.5 м. Иловые отложения представлены бурым наилком, переходящим в серую глину с черными вертикальными прослойками (до 10 см), ниже залегает серый ил. Озера относятся к числу наиболее изученных минеральных озер Бурятии и уникально своими лечебно-оздоровительными свойствами.

Всего было отобрано 13 проб газа из нижней части зоны аэрации, в пределах предполагаемого разлома из них 7 проб в районе Нижнего Белого и 6 проб в районе Верхнего Белого (рис. 1).

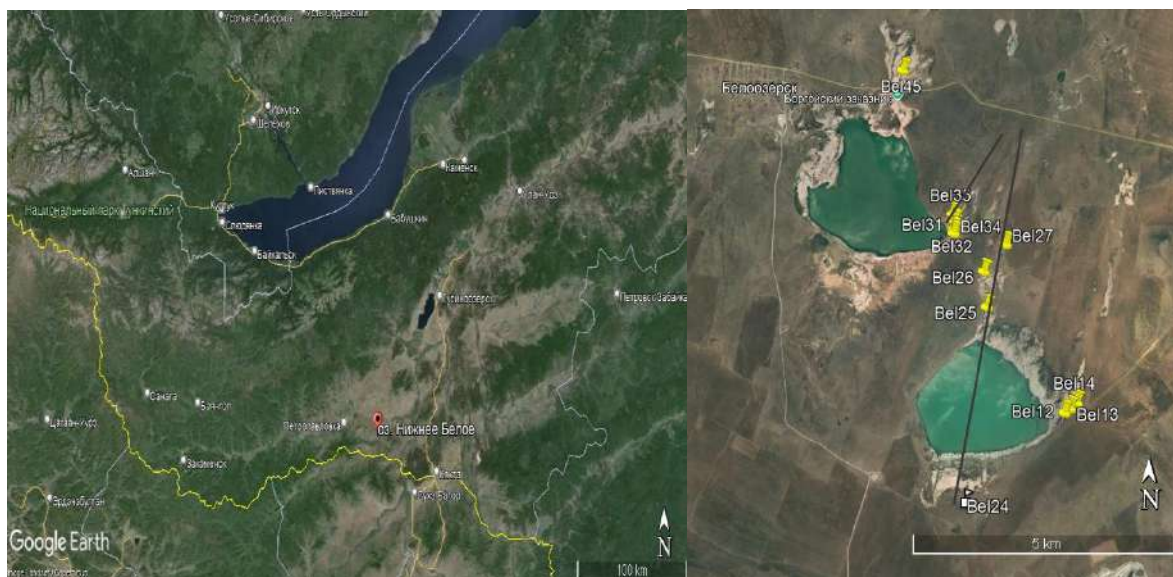


Рис.1. Район исследования (озера Верхнее Белое и Нижнее Белое)

Отбор проб газа проводился при помощи специально созданной установки, представляющей собой трубу, которая позволяет проникать в песчаный, суглинистый и супесчаный грунт, и откачивать истинный газовый состав. Для откачки газа использовался электрический насос мембранного типа и специальные емкости.

Полученные пробы были проанализированы методом газовой хроматографии в сертифицированной лаборатории ООО Научно-производственная фирма «Сибэксервис» (г. Иркутск) на хроматографе «Хромос GX-1000».

По результатам анализа проб газа, отобранных в 2024 г. прослеживаются повышенные концентрации диоксида углерода (CO_2) в 10 точках отбора содержание превышает 1 %, в то время как в атмосферном воздухе его концентрация составляет 0.03 %. Данные концентрации в 30 раз выше, чем в атмосферном воздухе. Визуально их сосредоточение прослеживается именно в пределах разрывных нарушений. Из ранее полученных результатов отобранных проб газа 2023 года выделено две точки с повышенной концентрацией углекислого газа, причем проба с наибольшей концентрацией (Bel-4) проявилась и в 2024 году (Bel-24) [5].

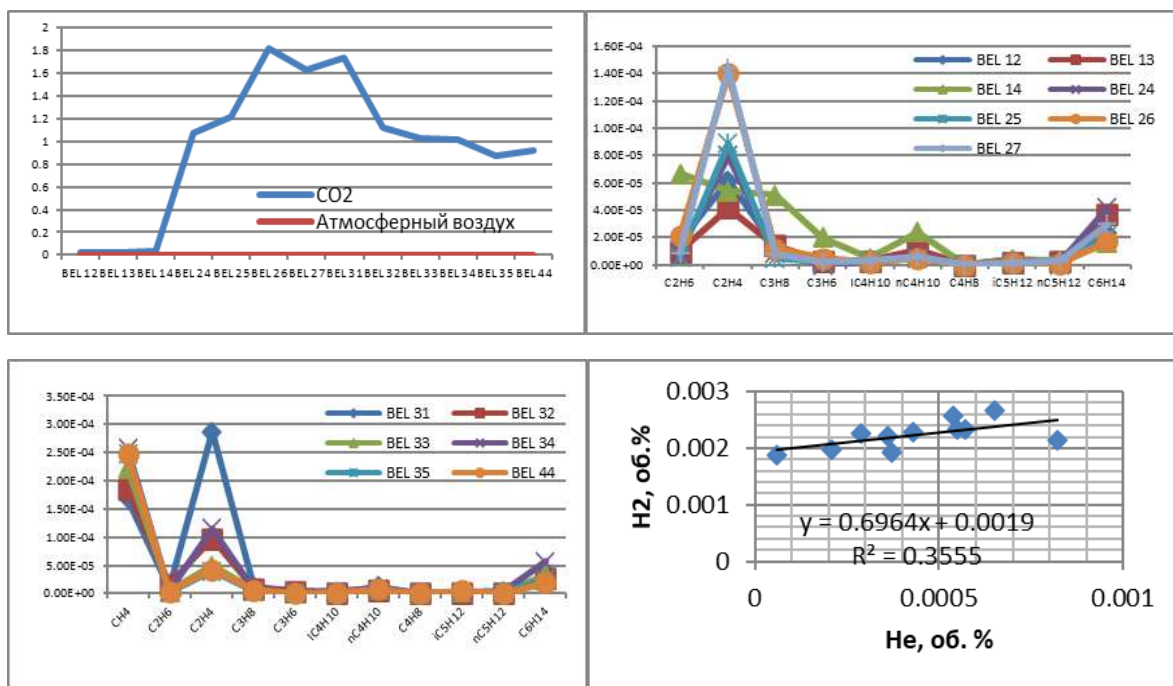


Рис. 2. Результаты газохроматографического анализа

Во всех отобранных пробах наблюдаются повышенные содержания водорода (H_2), от 33 до 53 раз превышающие содержания в атмосферном воздухе. Концентрация водорода находится в линейной зависимости от содержания гелия. Гелий является индикатором воздействия разрывных нарушений, следовательно, и водород поступает из разломов. Содержание углеводородов показывает значительные повышения метана (CH_4) в пробах Bel 12, Bel 13, Bel 14, что превышает содержание в атмосфере от 13 до 19,5 раз. Данные точки удалены от линии разлома и имеют не высокие содержания углекислого газа (CO_2). Во всех точках отбора проб выделяются высокие содержания этилена (C_2H_4) относительно других компонентов, наивысшее значение обнаружено в пробе Bel31. Также относительно высокие значения имеют гексан (C_6H_{14}) с наибольшим значением в точке Bel34, и н-бутан (nC_4H_{10}) с наибольшим значением в точке Bel14. (рис.2).

Литература

1. Лепкурова О.Е. Содовые подземные воды юго-востока западной сибир: геохимия и условия формирования: дис. ... доктора Геолого-минералогических наук: 25.00.07 / Лепкурова Олеся Евгеньевна; [Место защиты: Нац. исслед. Том.политехн. ун-т]. – Томск, 2018. – 44 с.
2. Плюснин А.М. Воздействие глубинных геологических процессов на химический состав углекислых минеральных вод Северо-Восточной Азии. Добрецовские чтения: Наука из первых рук. Материалы Первой Всероссийской научной конференции посвященной памяти выдающегося ученого и организатора науки академика РАН Н.Л. Добрецова. – Новосибирск: СО РАН, 2022. – 378 с.
3. Плюснин А.М., Украинцев А.В. Химический состав как индикатор процессов, протекающих в недрах на примере углекислых минеральных вод Забайкалья. Современная гидрогеология: актуальные вопросы науки, практики и образования труды Всероссийской научной конференции с международным участием. Москва, 2023. С. 392-398.
4. Солотчина Э.П. и др. Реконструкция климата голоцена на основе карбонатной осадочной летописи малого соленого озера Верхнее Белое (Западное Забайкалье). Геология и геофизика. – 2012. – Т. 53, № 12. – С. 1756-1775.
5. Черниговский Р.С., Плюснин А.М., Украинцев А.В. Газовый и микроэлементный состав потоков аэрозолей на содовом озере Нижнее Белое (Западное Забайкалье). Подземная гидросфера: материалы Всероссийского совещания по подземным водам Востока России (XXIV Совещание по подземным водам востока Сибири и Дальнего Востока с международным участием). Екатеринбург, 2024. – 556 с

РАСПРОСТРАНЕННОСТЬ СУЛЬФАТВОССТАНАВЛИВАЮЩИХ БАКТЕРИЙ В ВОДАХ НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Четверикова А.Г.

Научный руководитель доцент А. А. Хвощевская

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Сульфатвосстанавливающие бактерии (СВБ) вызывают интерес исследователей в связи со значительным влиянием на объекты нефтегазовой инфраструктуры. Сульфатредукторы являются частью естественной анаэробной микрофлоры подземных вод и увлажненных грунтов, где ослаблен воздухообмен, однако продуцируемые ими метаболиты создают ряд рисков при эксплуатации месторождений и транспортировке нефти и газа. Сероводород создает агрессивную электрохимическую среду, тем самым провоцируя коррозионные процессы для трубопроводов и оборудования. По оценкам экспертов до 70–80 % биокоррозионных потерь в нашей стране связаны с деятельностью СВБ [3]. Последствиями коррозии являются не только разрушение оборудования, но и поступление в среду большого количества ионов металлов.

Кроме коррозии СВБ создают ряд других проблем. Сульфиды, возникающие, в результате геохимической сульфатредукции и сами бактериальные клетки приводят к закупорке пласта и снижению эффективности нефтедобычи [2]. Ухудшается и качество добываемого сырья – сероводород способен связываться с углеводородами, вторично оседая нефть [1].

Описанные выше факторы являются причинами активного применения бактерицидов в борьбе с заражением нефтяных пластов сульфатвосстанавливающими микроорганизмами. Бактерициды могут снижать активность СВБ, но сами являются механизмом отрицательного влияния на экологическое состояние подземных вод. В связи с этим необходимы методики оценки рисков, связанных с биологической сульфатредукцией, для этого важно понимание распространенности и роли сульфатвосстанавливающих бактерий в водах нефтяных месторождений.

Целью работы было установить распространение и роль сульфатредукторов в водах нефтяных месторождений Западной Сибири.

В основу положены материалы исследования микробиологического состава вод нефтяных месторождений Западной Сибири (Томская и Новосибирская области, Ханты-Мансийский и Ямало-Ненецкий автономные округа), выполненных в период с 2020 по 2024 годы в Проблемной научно-исследовательской лаборатории гидрогеохимии ТПУ. Для определения численности и активности СВБ использовался посев методом предельных разведений, для измерения скорости коррозии – гравиметрический метод.

Анализ данных показал, что количество сульфатвосстанавливающих бактерий в водах нефтяных месторождений варьирует в широких пределах: от 0 до 100 000 КОЕ/см³ для Томской области, от 0 до 10 000 КОЕ/см³ для Новосибирской области, от 0 до 1000 КОЕ/см³ для Ханты-Мансийского и Ямало-Ненецкого автономных округов. При этом даже для скважин одного месторождения разница в содержании СВБ может составлять несколько порядков. Кроме того, в ряде месторождений (Игольско-Таловое, Малоичское) низкая численность СВБ сопряжена с их высокой активностью, что также будет создавать риски при эксплуатации.

Отмечены колебания численности сульфатредукторов в пределах одной скважины в течение разработки месторождения, что обуславливает важность регулярного микробиологического мониторинга вод.

Для установления роли процесса биологической сульфатредукции на коррозионную опасность вод были собраны данные по скорости коррозии в водах, различной степенью зараженных СВБ. Результаты отображены в таблице.

Таблица

Средняя скорость коррозии в зависимости от численности СВБ

Численность СВБ, КОЕ/см ³	Средняя скорость коррозии, мм/год
10 ⁰ – 10 ¹	0,062
10 ² – 10 ³	0,071
10 ⁴ – 10 ⁵	0,061

Из таблицы видно, что зависимость скорости коррозии от численности сульфатредукторов имеет неоднозначный вид. Даже при низких содержаниях СВБ фиксируется значительная коррозионная активность среды, при повышении количества СВБ до 1000 КОЕ/см³ наблюдается рост скорости коррозии на 0,009 мм/год, который сменяется понижением при дальнейшем увеличении содержания сульфатвосстанавливающих бактерий. Влияние биологической сульфатредукции на агрессивность среды имеет сложный характер и нуждается в дополнительном исследовании.

Таким образом, можно отметить значительную неоднородность распространения сульфатвосстанавливающих бактерий в водах нефтяных месторождений Западной Сибири и колебания их численности в процессе разработки скважин. Зависимость скорости коррозии от численности сульфатредукторов носит неоднозначный характер, в связи с чем требуется дополнительное исследование роли СВБ в создании коррозионно-опасной среды пластовых вод нефтяных месторождений.

Литература

1. Арсланова Л.З. Особенности протекания процессов сульфатредукции в нефтяных залежах. Роль бактерий / Л.З. Арсланова // Каротажник. – 2015. – № 12. – С. 56-62
2. Баранов А.Н. Влияние биокоррозии на объекты нефтегазодобычи и способы их антикоррозионной защиты / А.Н. Баранов, П.А. Лобова, Е.М. Комова // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. – 2015. – № 1 (12). – С. 60-65.
3. Методы борьбы с образованием сероводорода в нефтяных пластах и микробиологической коррозией / Р.Н. Липович, К.Р. Низамов, Ф.А. Асфандияров, А.А. Гоник, М.Д. Гетманский // Методы определения биостойкости материалов. М.: ВНИИСТ. – 1979. – С. 60.

ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ЗИЛАЙСКОГО СИНКЛИНОРИЯ (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

Шабутдинов Т.Д.^{1,2}

Научный руководитель профессор Р.Ф. Абдрахманов

¹Институт геологии УФИЦ РАН, г.Уфа, Россия

²Уфимский университет науки и технологий, г.Уфа, Россия

Согласно стратегии развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2050 года потребность в подземных водах в связи с ростом населения планеты и ухудшения экологической ситуации в России и мире возрастает. Наблюдается неравномерное распределение запасов подземных вод по регионам [9]. На территории Республики Башкортостан напряжённая обстановка с качеством питьевой воды наблюдается в районах Предуралья (Бижбулякский, Давлекановский, Буздякском и др.) [1]. Проблема существует и в горной части, на территории Абзелиловского, Белорецкого и Бурзянского районов. Ввиду сложного геологического строения северной части Зилайского синклинория, представленного ниже- и среднепалеозойскими отложениями Западно-Зилайской и Восточно-Зилайской (Межкрайской) зон, полимиктовым меланжем, из хаотично перемешанных фрагментов разновозрастных толщ, и ультрамафитами массивов Крака, давать оценку качеству питьевой воды невозможно без проведения гидрогеохимических исследований. С целью изучения химического состава подземных вод были проанализированы пробы из 84 водопунктов, расположенных на территории северной части Зилайского синклинория. В работе рассматриваются результаты анализов воды, отобранной в ходе полевых работ 2024 года, а также приводятся материалы прошлых лет (Ключихин и др., 1969ф).

История изучения территории Зилайского синклинория известна с начала XX века. Первые обобщающие работы по гидрогеологии Южного Урала были выполнены М.О. Клером в 1928 году [4]. В 50-х –60-х годах гидрогеологическая характеристика территории была дана Д.И. Иткиным, Н.Н. Тостуновой (Иткин, 1957ф; Тостунова, 1964ф). В 1962–1968 году Кагармановской партией, под руководством А.В. Ключихина и др, проводилась геологическая съёмка масштаба 1:50 000 (Ключихин и др., 1969ф) Геохимия и условия формирования подземных вод Южного Урала, в том числе и этой территории, рассматривались Р.Ф. Абдрахмановым [2].

Химический анализ проб воды проводился с помощью иономера, «И-160МИ», капиллярных электрофорезов «Капель-105 М», «Капель-205», согласно нормативным документам [5-6] в испытательном лабораторном центре ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Башкортостан», г. Уфа. Классификация вод по химическому составу, минерализации, общей жёсткости проводилась согласно работам О.А. Алекина [3],

Е.В. Посхова [7]. Полученные данные химического состава воды из весовой формы (мг/дм³) были пересчитаны в эквивалентную (ммоль/дм³) и процентную (%) (табл.). Значения в процентной форме выносились на график-комбинацию двух треугольников с квадратом (рис.).

Таблица

Анализы химического состава воды с водопунктов на территории Зилаирского синклинария

№№ п/п	Место отбора	Дата отбора	М, г/дм³	рН	Ингредиенты, мг/дм³, ммоль/дм³, %							Индекс состава воды
					HCO₃⁻	SO₄²⁻	Cl⁻	Ca²⁺	Mg²⁺	Na⁺	K⁺	
1	Горшков Ключ	22.10.2024	0,2	-	136,95	8,5	1,54	36,7	5,5	3,79	0,51	C ^{Ca} _{II}
					2,25	0,18	0,04	1,84	0,45	0,17	0,01	
					91,1	7,2	1,7	74,4	18,3	6,7	0,5	
2	Ручей правый Суртанды	22.10.2024	0,5	-	374,05	5,2	0,96	9,3	70,1	0,5	0,5	C ^{Mg} _{II}
					6,13	0,11	0,03	0,47	5,77	0,02	0,01	
					97,9	1,7	0,4	7,4	92,1	0,3	0,2	
3	Руч. Большой Башарт	29.08.2024	0,4	8,25	293,23	11,9	7,28	28,9	44,0	3,32	2,28	C ^{CaMg} _{II}
					4,81	0,25	0,21	1,45	3,62	0,14	0,06	
					91,3	4,8	3,9	27,5	69,0	2,5	0,9	
4	Руч. Большой Апшак	29.08.2024	0,5	8,29	401,69	11,4	5,25	34,7	61,1	3,41	2,21	C ^{CaMg} _{II}
					6,58	0,24	0,15	1,74	5,03	0,15	0,06	
					94,4	3,4	2,2	24,9	72,1	2,1	0,8	
5	Руч. Малый Апшак	29.08.2024	0,5	8,25	376,43	13,8	6,66	35,0	57,30	3,14	1,70	C ^{CaMg} _{II}
					6,17	0,29	0,19	1,75	4,72	0,14	0,04	
					92,8	4,4	2,9	26,3	70,9	2,1	0,7	
6	Точка 23	1962-1968	0,12	7,2	30,0	46,0	24,0	48,0	18,0	34,0		CIC ^{NaCa} _{II}
7	Точка 53	1962-1968	0,33	8,4	92,0	2,0	0,0	16,0	79,0	5,0		C ^{Mg} _{II}
8	Точка 96	1962-1968	0,08	7,4	79,0	21,0	0,0	71,0	24,0	4,0		SC ^{MgCa} _{II}

Примечание: Анализы химического состава воды отобранной из водопунктов, расположенных на территории распространения: 1 – палеозойских отложений Западно-Зилаирской зоны; 2,6 – палеозойских отложений Восточно-Зилаирской зоны; 3–5,8 – ультрамафитов массивов Крака; 7 – полимиктового меланжа. В таблице приводятся анализы химического состава воды из отчета (Клочихин и др., 1969ф)

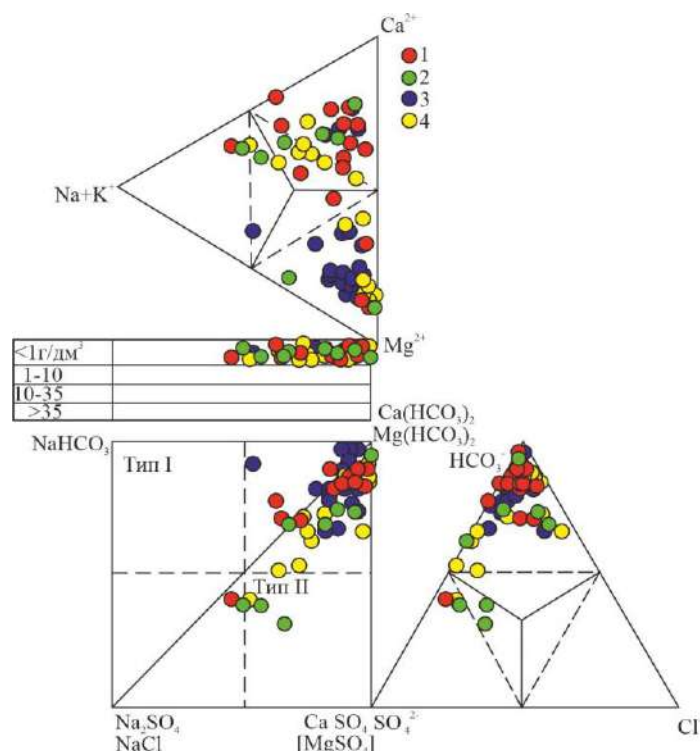


Рис. График-комбинация двух треугольников с квадратом [7]. Анализы химического состава воды, отобранной из водопунктов, расположенных на территории распространения: 1 – палеозойских отложений Западно-Зилаирской зоны; 2 – палеозойских отложений Восточно-Зилаирской зоны; 3 – ультрамафитов массивов Крака; 4 – полимиктового меланжа, с хаотично перемешанными фрагментами разновозрастных толщ

Анализы воды, из водопунктов с палеозойских отложений от набиуллинской до зилаирской свиты ($O_{2-3nb} - C_{12l}$) Западно-Зилаирской зоны, имеют гидрокарбонатный и кальциевый состав (см. рис., табл.). Минерализация составляет 0,09–0,31 г/дм³, общая жёсткость 2,3 ммоль/дм³, pH среды 7,0–8,2. Для водопунктов с палеозойских отложений (от сухоядской до хуторской толщ ($O_{1-3} sh-D_{1-2} ht$)) Восточно-Зилаирской зоны состав воды меняется от гидрокарбонатного и магниево-кальцевого до гидрокарбонатно-сульфатного и натриево-магниевый (см. рис.). Минерализация подземных вод этой территории варьирует от 0,04 до 0,12 г/дм³, общая жёсткость 6,2 ммоль/дм³, pH среды от 6,8 до 7,9. В анализах воды с ручьев и родников, протекающих по дунитам и перидотитам (гарцбургитам, лерцолитам) массивов Северный, Средний и Южный Крака химический состав преимущественно гидрокарбонатный и магниевый. Исключения составляют пробы с водопунктов на территории распространения перидотитов (возможно, шпинелевых лерцолитов, реже плагиоклаз-шпинелевых лерцолитов) Узянского Крака, северной и юго-восточной части Южного Крака, где среди катионов начинают преобладать кальций, натрий. Минерализация 0,15–0,9 г/дм³, общая жёсткость 2,1–4,3 ммоль/дм³, pH среды 7,3–8,9. Составы воды для ручьев и родников, протекающих по породам полимиктового меланжа, преимущественно гидрокарбонатный и магниевый, реже сульфатно-гидрокарбонатный и смешанный (магниевый-натриево-кальциевый) (см. рис.). Минерализация составляет 0,04–0,47 г/дм³, общая жёсткость 0,9–2,4 ммоль/дм³, pH среды 6,8–8,8.

Редкий тип гидрокарбонатно-магниевых вод характерен для ультраосновных пород Южного Урала. Полученные данные минерализации (0,04–0,9 г/дм³), общей жёсткости (0,9–6,2 ммоль/дм³) и pH среды (6,8–8,9) не превышают ПДК в СанПиН 1.2.3685-21 [8], что позволяет использовать воды северной части Зилаирского синклиория для бутилирования качественной питьевой воды.

Литература

1. Абдрахманов Р.Ф. Пресные подземные и минеральные лечебные воды Башкортостана [Текст] // Р.Ф. Абдрахманов. – Уфа: Гилем, Башк. энцикл., 2014. – 416 с.
2. Абдрахманов Р.Ф., Попов В.Г. Геохимия и формирование подземных вод Южного Урала [Текст] / Р.Ф. Абдрахманов, В.Г. Попов. – Уфа: АН РБ, Гилем, 2010. – 420 с.
3. Алекин О.А. Основы гидрохимии [Текст] / О.А. Алекин. – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 442 с.
4. Гидрогеология СССР. Т.15. Башкирская АССР. [Текст] / Е.А. Зуброва. – М.: Издательство «Недра», 1972. – 344 с.
5. ГОСТ 31867-2012. Вода питьевая. Определение содержания анионов методом хроматографии и капиллярного электрофореза [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200097406>.
6. ГОСТ 31869-2012. Вода. Методы определения содержания катионов (аммония, бария, калия, кальция, лития, магния, натрия, стронция) с использованием капиллярного электрофореза [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200097408>.
7. Посохов Е.В. Общая гидрогеохимия [Текст] / Е.В. Посохов. – Л.: Издательство «Недра», 1975. – 208 с.
8. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/573500115>
9. Стратегия развития минерально-сырьевой базы РФ до 2050 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1306809418>.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ШТАТА ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

Шубина Е.А.^{1,2}, Журавлев Д.М.¹

¹Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева,
г. Кемерово, Россия

²ООО «ВНИИ-ГЕО», г. Кемерово, Россия

Согласно статье 23 Федерального закона «О недрах», одними из основных требований по рациональному использованию и охране недр являются «обеспечение полноты геологического изучения» и «проведение опережающего геологического изучения недр» [1]. Выполнение данных требований достигается за счет качественно организованных разведочных и эксплуатационных работ.

Эксплуатационная разведка проводится в течение всего периода освоения месторождения с целью получения достоверной геологической информации для обеспечения безопасного ведения горных работ, оперативного планирования, рационального пользования недрами и т.д. [2].

Ответственность за качественное и своевременное предоставление геологической документации возлагается на геологическую службу шахты [3].

Согласно статье 9 Федерального закона «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» организация, эксплуатирующая опасный производственный объект обязана обеспечивать укомплектованность штата работников в соответствии с установленными требованиями [4].

При анализе методики расчета штата геологической службы угледобывающего предприятия, представленной в действующей «Инструкции по геологическим работам на угольных месторождениях Российской Федерации» [5], было установлено, что формула не учитывает весь перечень работ возложенный на геологическую службу иными нормативными документами. Следует отметить, что с момента введения в действие «Инструкции...» [5] прошло более 30 лет и за это время изменились не только горно-геологические и горно-технические условия эксплуатации угольных месторождений, но и обязанности возлагаемые на геологическую службу. В этой связи,

представленная в «Инструкции...» [5] методика расчета штата работников геологической службы требует актуализации и совершенствования.

Согласно п. 1.3 Приложения 1 данной инструкции [5], «в последующем, при изменении горно-геологических и горно-технических условий, новые данные должны быть использованы при корректировке штатов геологической службы». Например, с увеличением глубины залегания угольных пластов возрастает их метаногенность (рис. 1). Высокое содержание метана может спровоцировать возникновение газодинамических явлений, что представляет опасность для ведения горных работ. Для обеспечения безопасности добычи необходимо проводить мероприятия по предотвращению динамических явлений. Эти меры реализуются инженерно-техническими работниками службы прогноза [6]. При этом часть работ связанная с разработкой комплекса мер по борьбе с газодинамическими явлениями и контролем их исполнения возложена на геологическую службу предприятия.

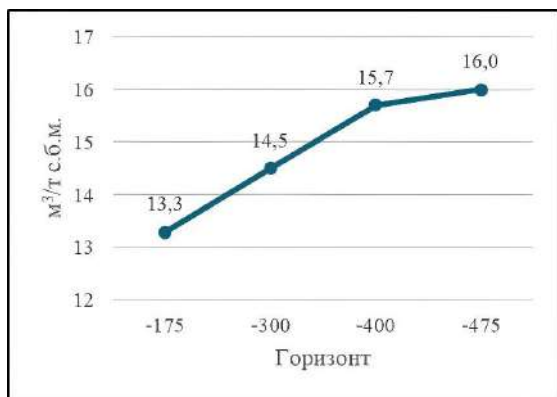


Рис. 1. Зависимость метаногенности от глубины залегания угольных пластов на шахте имени С.М. Кирова

Следует отметить, что Методика [7] определения числа работников геологической службы шахты, представленная в инструкции 1993 г., была утверждена ещё раньше, а именно в 1989 г. Таким образом, совершенствование нормативных документов, техники, технологии и подхода к рациональному и безопасному освоению недр в свою очередь обуславливают актуализацию Методики расчета штата. Например, Федеральный закон «О недрах», предусматривающий порядок лицензирования, был введен через несколько лет, в 1992 г. Помимо этого, за последние десять лет были неоднократно пересмотрены Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности, тогда как расчет численности геологической службы шахты в настоящее время выполняется по Методике принятой в прошлом столетии.

Однако, несмотря на то что большинство геологических обязанностей, регламентированных действующими нормативными документами,

не учитываются напрямую, инструкция по геологическим работам предусматривает возможность привлечения дополнительного геолога сверх расчетной численности при определенных условиях:

- ведение работ по реконструкции шахты;
- подготовка нового горизонта;
- сложные гидрогеологические условия (вводится один гидрогеолог);
- выполняются геофизические работы (вводится один геофизик).

Из вышеизложенного следует, что работы, в которых геологическая служба шахты принимает непосредственное участие:

- составление и пополнение чистовой и сводной геологической документации;
- согласование и контроль ведения работ подрядными организациями;
- работа с опасными зонами и т.д., действующей Методикой не учитываются, при этом ненадлежащее

их выполнение влияет не только на обеспечение безопасного ведения горных работ, но и на рациональное освоение недр, экологическую среду. Необходимо добавить, что актуализация также требуется для Методики определения штатов геологической службы горнодобывающих предприятий, ведущих разработку месторождений открытым способом.

Таким образом, методику расчета штата геологической службы угольных шахт необходимо привести в соответствие с видами и объемами работ, которые возложены на геологическую службу с учетом требований Федеральных законов, норм и правил в области охраны недр и промышленной безопасности.

Литература

1. Закон Российской Федерации «О недрах» от 21.02.1992 г. № 2395-1.
2. Положение о порядке проведения геологоразведочных работ по этапам и стадиям (твердые полезные ископаемые). – М.: ВИЭМС, 1999.
3. Положения о геологическом и маркшейдерском обеспечении промышленной безопасности и охраны недр. Утв. Постановлением Госгортехнадзора России №18 от 22.05.2001 г.
4. Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» № 116-ФЗ от 21.07.1997.
5. Инструкция по геологическим работам на угольных месторождениях РФ. – СПб.: ВНИМИ, 1993. – 147 с.
6. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Инструкция по прогнозу динамических явлений и мониторингу массива горных пород при отработке угольных месторождений». Утв. Приказом Ростехнадзора № 515 от 10.12.2020.
- Методика определения числа работников геологической службы предприятий Минуглепрома СССР. Утв. Первым заместителем Министра угольной промышленности СССР № 2-35-30/447 от 07.09.1989 г.

СЕКЦИЯ 5

ГЕОЭКОЛОГИЯ И ГЕОХИМИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

ВЕРТИКАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ^{210}Pb , ^7Be И ^{137}Cs В СИСТЕМАХ «ЛИШАЙНИК/МОХ-ЛЕСНАЯ ПОДСТИЛКА» НА ТЕРРИТОРИИ АЛТАЙСКОГО КРАЯ

Мезина К.А., Мельгунов М.С.

Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск, Россия

Антропогенная деятельность вызвала резкое увеличение запыленности и загрязнения атмосферы вредными веществами. Естественные и искусственные радионуклиды широко применяются для исследования потоков вещества в окружающей среде, в том числе и в атмосфере. В эколого-геохимических исследованиях для характеристики процессов атмосферного переноса вещества используют радиоактивные изотопы-индикаторы, такие как ^7Be , ^{210}Pb и ^{137}Cs [1, 3-5, 9]. Связано это с совместным поступлением этих радионуклидов в составе атмосферных выпадений, высокими значениями их активностей в различных объектах окружающей среды и высокой достоверностью их определения современными аналитическими методами, такими как полупроводниковая гамма-спектрометрия. Мхи и лишайники являются общепринятыми биоиндикаторами загрязнения окружающей среды, используемыми как инструмент при изучении процессов атмосферного переноса вещества. Поскольку они могут предоставить основную информацию об уровнях загрязнения воздуха в настоящее время и в прошлом.

Целью работы является оценка современных содержаний ^{210}Pb , ^7Be и ^{137}Cs в лишайниках и мхах, а также изучение их вертикального распределения по разрезам лишайник (верхняя и нижняя части таллома) – лесная подстилка и мох (верхняя, срединная и нижняя части тела) – лесная подстилка на территории Алтайского края.

Определение активностей ^7Be , ^{210}Pb и ^{137}Cs в образцах мха, лишайника и лесной подстилки проводилось методом высокоразрешающей полупроводниковой гамма-спектрометрии по специально разработанной методике [2, 7, 8]. Используемая методика позволяла учитывать влияние таких мешающих факторов, как непостоянство плотности измеряемых образцов и геометрии измерения. Нижний предел обнаружения ^7Be , ^{210}Pb и ^{137}Cs составлял 0,02 Бк. Длительность измерения единичного образца изменялась от 4 до 24 ч. Длительность времени измерения выбиралась таким образом, чтобы статистическая погрешность определения площадей аналитических фотопиков 46,5 кэВ и 477,6 кэВ не превышала 5 %.

Было изучено вертикальное распределение ^{210}Pb , ^7Be и ^{137}Cs в системе «лишайник-лесная подстилка» на территории Алтайского края (по 7 образцам). Полученные аналитические данные показали существенные различия в характере распределения этих радионуклидов (рис. 1). В верхней части таллома лишайника накопленный запас ^{210}Pb в среднем составляет 323 Бк/м². В нижней части его запас несколько выше – 493 Бк/м². В слое лесной подстилки накопленный запас ^{210}Pb значительно выше, чем в теле лишайника и в среднем составляет 3371 Бк/м².

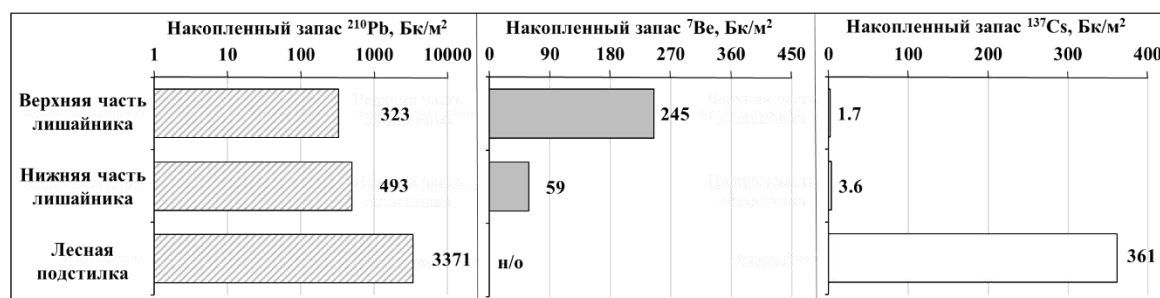


Рис. 1. Величины средних накопленных запасов ^{210}Pb , ^7Be и ^{137}Cs в системе «лишайник-лесная подстилка»

Изотоп ^7Be ведет себя прямо противоположным образом. В верхней, приповерхностной части таллома лишайника накопленный запас этого изотопа в среднем составляет 245 Бк/м² и его содержание падает до 59 Бк/м² в нижней части таллома. Содержания ^7Be в слое лесной подстилки были ниже предела обнаружения (н/о) используемого аналитического метода.

Накопленный запас ^{137}Cs в среднем составляет 1,7 Бк/м² в верхней части таллома лишайника; 3,6 Бк/м² в его нижней части и 361 Бк/м² в слое лесной подстилки.

Вертикальное распределение ^{210}Pb , ^7Be и ^{137}Cs в системе «мох-лесная подстилка» на территории Алтайского края (рис. 2) было изучено на примере 4 образцов. Отмечается тенденция увеличения накопленного запаса ^{210}Pb при движении вниз по рассматриваемой системе «мох (верхняя, срединная и нижняя части)-лесная подстилка». В верхней и срединной частях мха накопленный запас этого изотопа в среднем составляет 105 и 282 Бк/м², соответственно. В нижней части его запас несколько выше – 365 Бк/м². В слое подстилки накопленный запас ^{210}Pb намного выше, чем в теле мха, и в среднем составляет 2005 Бк/м².

Для изотопа ^7Be наблюдается обратная картина, его накопленный запас плавно понижается. В верхней части мха накопленный запас ^7Be в среднем составляет 124 Бк/м², в срединной части – 68 Бк/м² и в нижней части мха – 23 Бк/м².

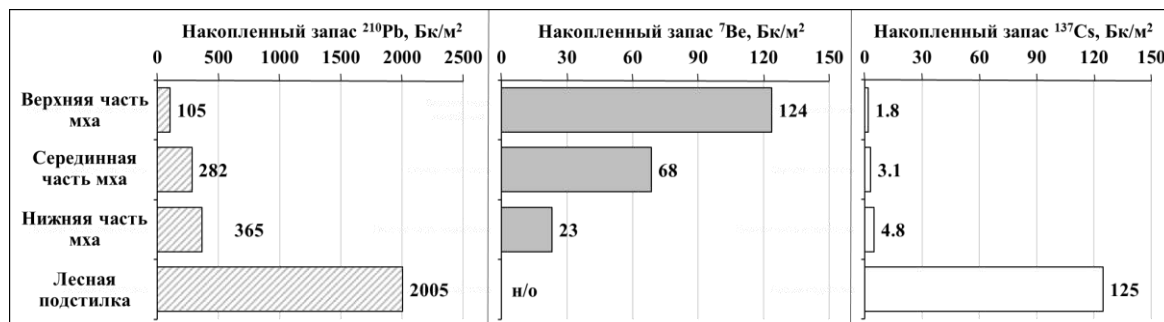


Рис. 2. Величины средних накопленных запасов ^{210}Pb , ^7Be и ^{137}Cs в системе «мох-лесная подстилка»

Отмечается тенденция увеличения накопленного запаса ^{137}Cs при движении вниз по стеблю мха. В верхней части мха его запас составляет 1,8 Бк/м², в срединной части – 3,1 Бк/м², в нижней части – 4,8 Бк/м² и в слое лесной подстилки – 125 Бк/м².

В целом, характер распределения исследуемых радионуклидов в системе «лишайник-лесная подстилка» аналогичен системе «мох-лесная подстилка». В лишайниках в верхней части таллома сконцентрировано до 81 % ^7Be и лишь 19 % находятся в его нижней части. Для мха характерно более плавное перераспределение этого изотопа, оно происходит в пропорции 58-32-10 % от верхней части к нижней. Учитывая короткий период полураспада ^7Be , такой характер вертикального распределения говорит о наличии его миграции по телу растений за счет промывки атмосферными водами. Причем, у мхов этот процесс более выражен. Поскольку ^{210}Pb , ^7Be и ^{137}Cs поступают из атмосферы, как правило, в составе одних и тех же носителей (пылевые и аэрозольные частицы различной размерности), то следует предположить, что ^{210}Pb и ^{137}Cs также будут подвержены аналогичной вертикальной миграции. Однако, учитывая значительно большие периоды полураспада ^{210}Pb и ^{137}Cs , особенности характера их накопления значительно отличаются. Это определяется временными рамками их поступления из атмосферы. Приток ^{210}Pb происходит постоянно, что дает его постепенное накопление во всех компонентах системы с максимальным концентрированием в лесной подстилке. Как было показано ранее, современное поступление ^{137}Cs из атмосферы невелико и происходит в результате выветривания пылевых частиц с поверхности ранее загрязненных почв, либо при сгорании большого количества органического материала во время сильных природных пожаров [6, 7]. Его большие запасы в лесной подстилке связаны с прошлыми выпадениями в результате ядерных испытаний на Семипалатинском полигоне в период 1949–1963 гг. и определяются миграционными процессами и особенностями жизненных циклов растений.

Стоит отметить, что на характер распределения изучаемых радионуклидов в системе «лишайник/мох – лесная подстилка» значительное влияние могут оказывать такие факторы, как разнообразие анатомо-морфологического строения, возрастная неоднородность организмов, неравномерность площадного поступления, метеорологические условия (количество и интенсивность атмосферных осадков, направление ветра, условия снегонакопления и др.).

Работа выполнена по государственному заданию ИГМ СО РАН (№ 122041400193-7). Аналитические исследования проведены в «ЦКП Многоэлементных и изотопных исследований СО РАН».

Литература

1. Baskaran M., Coleman C.H., Santschi P.H. Atmospheric depositional fluxes of ^7Be and ^{210}Pb at Galveston and College Station, Texas // Journal of Geophysical Research: Atmospheres. – 1993. – Т. 98. – № D11. – С. 20555-20571.
2. Gavshin V. M. et al. Disequilibrium between uranium and its progeny in the Lake Issyk-Kul system (Kyrgyzstan) under a combined effect of natural and manmade processes // Journal of environmental radioactivity. – 2005. – Т. 83. – № 1. – С. 61-74.
3. Krmar M. et al. Beryllium-7 and ^{210}Pb atmospheric deposition measured in moss and dependence on cumulative precipitation // Science of the Total Environment. – 2016. – Т. 541. – С. 941-948.
4. Melgunov M. et al. Radioactive elements in atmospheric precipitations of the Western Siberia // E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2019. – Т. 98. – С. 10003.
5. Mezina K., Melgunov M., Belyanin D. ^7Be , ^{210}Pb and ^{137}Cs in snow deposits in the Arctic part of Western Siberia (Yamal-Nenets Autonomous District) // Atmosphere. – 2020. – Т. 11. – № 8. – С. 825.
6. Shcherbov B. L. The role of forest floor in migration of metals and artificial nuclides during forest fires in Siberia // Contemporary Problems of Ecology. – 2012. – Т. 5. – С. 191-199.
7. Shcherbov B. L., Lazareva E. V. Migration factors of radionuclides and heavy metals during forest fires in Siberia // Advances in Environmental Research. Volume 4. – 2010. – С. 99-119.
8. Мельгунов М.С. и др. Аномалии радиоактивности на южном побережье озера Иссык-Куль (Кыргызстан) // Химия в интересах устойчивого развития. – 2003. – Т. 11. – № 6. – С. 869-880.
9. Сапожников Ю.А., Алиев Р.А., Калмыков С.Н. Радиоактивность окружающей среды. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2006.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ЗАДАЧ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА С ПРИМЕНЕНИЕМ ОТРАСЛЕВОГО ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА «1С:ЭКОЛОГИЯ. ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ КОРП»

Слепушкина А.А.^{1,2}

Научный руководитель доцент С.В. Азарова²

¹ООО «Производственная безопасность и экология», г. Москва, Россия

^{1,2}Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Производственный экологический контроль и мониторинг являются неотъемлемой частью природоохранной деятельности предприятий, эксплуатирующих объекты негативного воздействия на окружающую среду. Этот процесс включает несколько ключевых этапов: планирование, проведение контроля и подготовку отчетности. Каждый из этих этапов требует высокой компетенции экологов, но при этом многие функции могут быть автоматизированы для повышения качества, скорости и точности выполнения задач. Автоматизация процессов производственного экологического контроля и мониторинга становится все более востребованной, так как позволяет не только оптимизировать работу, но и обеспечить выполнение требований законодательства, снизить экологические риски и повысить эффективность управления природоохранной деятельностью.

Автоматизация предприятия может быть осуществлена с применением различных современных инструментов – геоинформационных систем, беспилотников, искусственного интеллекта, технологий интернет-вещей [1] и консолидирующих их данные ERP-систем, одной из которых является программный продукт «1С:Экология. Охрана окружающей среды КОРП» [3].

Этап планирования в системе «1С:Экология. Охрана окружающей среды КОРП» автоматизирует процесс составления перечня источников негативного воздействия, количества контролируемых загрязняющих веществ и контролируемых показателей. Помимо этого, система помогает установить нормативные значения для каждого из этих веществ согласно документу федерального или регионального уровня (рис. 1).

План-график экоаналитического контроля 00-000008 от 01.01.2024 12:00:01

Основное | План-график экоаналитического контроля | Присоединенные файлы

Провести и закрыть | Записать | Провести | Заполнение... | Печать | Отчеты | Еще | ?

Номер: 00-000008 | 2024 г. | Учитывать кем осуществлен контроль по ЗВ: ☐ | Указывать периодичность замеров по ЗВ: ☐

Дата: 01.01.2024 12:00:01 | Организация: Филиал 1

Контроль промышленных выбросов в атмосферу | Контроль атмосферного воздуха | Контроль природных вод | Контроль питьевых вод | Контроль сточных вод | Контроль очистных сооружений | Контроль почвы | Контроль данных отложений | Контроль атмосферных осадков | Физические факторы | Согласование | Комментарий

Добавить | Заполнить пустые значения | Поиск (Ctrl+F) | Еще

N	Объект контроля	Место отбора проб	Точка контроля	Количество замеров	Периодичность
1	Промышленная п...	СЗЗ ПП1	ТК СЗЗ	2	в год

Добавить | Заполнить норматив | Поиск (Ctrl+F) | Еще

Загрязняющее ве...	Код	Р.г.	Н.г.	Сп...	Норматив	Ед. изм.	Наимено...	Обозначение (наименов...
Кадмий (валовая ...	000000017	☒	☐		0,5	мг/кг	ГДК	РД 52.18.191-89
Фосфат-ион	000000029	☒	☐		27,2	мг/кг	ГДК	ПНД Ф 16.1.2.2.3.52-
Ртуть (валовая ф...	000000024	☐	☐		2,1	мг/кг	ГДК	РД 52.18.827-2016

Рис. 1. План-график экоаналитического контроля в «1С:Экология. Охрана окружающей среды КОРП»

На этапе регистрации результатов проведенного контроля автоматизированная система поможет оперативно выявить нарушения установленных нормативных значений и принять своевременные меры по уменьшению негативного воздействия (рис. 2). При этом основная информация о проведенном контроле будет определена на основании плана-графика экоаналитического контроля, что исключает необходимость двойного ввода информации и минимизирует возможность ручной ошибки.

Этап подготовки отчетности в таком случае может быть автоматизирован полностью, включая дополнительные логические проверки для последующей целостной и корректной передачи данных в государственную систему [4].

Внедрение системы экологического мониторинга на 1С позволило компании «АЛРОСА» повысить качество экологического менеджмента и мониторинга на предприятии, благодаря доступу сотрудников к детальной информации об использовании ресурсов, объектах негативного воздействия на окружающую среду, удельных показателях образования отходов, сточных вод и выбросов в атмосферу [2].

Современные системы экологического мониторинга в РФ активно развиваются, что позволяет повышать точность данных и оперативность реагирования на экологические угрозы.

Основное Результаты анализа почв и донных отложений Присоединенные файлы

Провести и закрыть Записать Провести Отчеты

Номер: 00-000003 Дата: 30.05.2024 12:00:00 Организация: Филиал 1

Вид протокола: Почва

План-график: План-график экоаналитического контроля 00-000008 от 01

Показатели протокола Сведения о протоколе Комментарий

Добавить Подбор из плана-графика Поиск (Ctrl+F)

Загрязняющее вещество	Глубина отбора пробы (см)	Сложное условие	Результат отбора	Погрешность $\pm\Delta$	Единица измерения	Норматив	Норматив единица ...
Кадмий (валовая ...)	20,000	☐	0,51		мг/кг	0,5000000000	мг/кг
Фосфат-ион	20,000	☐	25		мг/кг	27,2000000000	мг/кг
Ртуть (валовая ...)	20,000	☐	1,1		мг/кг	2,1000000000	мг/кг

Рис. 2. Регистрация результатов экоаналитического контроля в «1С:Экология. Охрана окружающей среды КОРП»

Литература

- Ивашук О.А. и др. Исследование и разработка распределенной автоматизированной системы интеллектуального экомониторинга и управления экологической безопасностью городских территориальных агломераций // Региональная научно-техническая конференция по итогам конкурса ориентированных фундаментальных исследований по междисциплинарным темам, проводимого Российским фондом фундаментальных исследований и Правительством Белгородской области. – 2017. – С. 123-136.
- Кислицына А. Автоматизация в АПРОСА: ключевые проекты в Дальневосточном регионе // Глобус: геология и бизнес. – 2022. – № 5 (74). – С. 78-83.
- Слепушкина А.А. Единое информационное пространство управления охраной окружающей среды на предприятии // Экологическая безопасность в газовой промышленности (ESGI-2023): Тезисы докладов VIII Международной научно-технической конференции и выставки, Москва, 13-15 декабря 2023 года. – Москва: Научно-исследовательский институт природных газов и газовых технологий – Газпром ВНИИГАЗ, 2023. – С. 26.
- 1С:Экология. Охрана окружающей среды КОРП – О решении – Возможности [Электронный ресурс]. – URL: https://solutions.1c.ru/catalog/ehs_envprot_corp/features (дата обращения 4.03.2025).

СОДЕРЖАНИЕ ФТОРА В СНЕГОВОМ И ПОЧВЕННОМ ПОКРОВЕ В ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЗОНАХ Г. ТОМСКА

Андреева А.Д., Беспалова А.И.

Научные руководители профессор А.В. Таловская, доцент Н.А. Осипова

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Фтор является одним из жизненно необходимых элементов для живых организмов, так как принимает участие в образовании костных тканей, выработке ферментов, но в то же время он может оказывать негативное воздействие из-за своих токсических свойств, характерных галогенам [10]. Фтор относится к I классу опасности согласно ГОСТ Р 70281-2022, поэтому необходимо отслеживать уровень поступления данного элемента в окружающую среду от антропогенных источников. Поступление фтора и фторсодержащих веществ в окружающую среду происходит вследствие деятельности металлургической и химической промышленности, сельского хозяйства, производства строительных материалов, стекла, удобрений, а также при работе тепловых электростанций, использующих уголь как топливо [1,4]. Для оценки загрязнения территорий используются почвенный покров как долговременная депонирующая среда и снеговой покров как кратковременная депонирующая среда, позволяющая оценить современное состояние окружающей среды [9].

Томск является промышленным городом, где функционируют топливная, машиностроительная, нефтехимическая и другие отрасли промышленности, которые потенциально могут выступать в качестве источников фтора.

Целью данной работы является оценка содержания фтора в снеговом и почвенном покрове в функциональных зонах г. Томска.

В ходе исследования в г. Томск были выбраны 3 функциональных зоны: зона влияния промышленных объектов (кирпичные заводы, ГРЭС-2), рекреационная и транспортная. Отбор проб в зоне влияния промышленных

объектов проводился по мере удаления до 2 км по направлению главенствующего ветра (юго-западного). Отбор и подготовка проб снегового покрова осуществлялась согласно методическим рекомендациями ИМГРЭ [8], почвенных проб – ГОСТ Р 58595-2019. В ходе исследования было отобрано и изучено 12 проб снегового покрова и 14 проб почвенного покрова. Определение содержания фтора проводилось потенциометрическим методом при помощи прибора Анион 4100 с фтор-селективным электродом ЭЛИС-131F и хлорсеребряным электродом сравнения Ag/AgCl в лаборатории МИНОЦ «Урановая геология» ТПУ (при консультации к.х.н., доцента Н.А. Осиповой).

Для исследования содержания водорастворимого фтора в почвенном покрове приготовлены почвенные вытяжки, по которым впоследствии сделан расчёт содержания элемента в сухом веществе по следующей формуле [2]:

$$X = \frac{C_F \cdot V}{B} \text{ (мг/кг)},$$

где C_F – концентрация фторид-ионов в почвенной вытяжке, мг/л; V – объём воды, использованный для подготовки почвенной вытяжки, мл; B – навеска почвы, г.

Исследование снегового покрова показало, что в зоне действия ГРЭС-2 содержание фтора отмечается постепенное увеличение концентрации элемента с пиком на расстоянии 1,6 км и резким снижением на расстоянии 2 км (табл. 1). Содержание фтора в пробах, отобранных в зоне влияния кирпичных заводов, достигает максимума на расстоянии 0,2 км и постепенно снижается в 3 раза по мере удаления от объектов. В пробах рекреационной и транспортных зон содержание фтора существенно не отличается. Полученные значения содержания фтора в талой снеговой воде не превышают предельно допустимую концентрацию фтора для вод рыбохозяйственного назначения (0,75 мг/дм³) [5].

Таблица 1

Содержание фтора в талой снеговой воде в функциональных зонах г. Томска

Содержание фтора в талой снеговой воде в функциональных зонах г. Тюмени			
Зона	Расстояние от объекта, км	Содержание фтора, мг/дм ³	Среднее значение, мг/дм ³
Зона влияния ГРЭС-2	0,7	0,19	0,22
	1,0	0,19	
	1,3	0,24	
	1,6	0,27	
	2,0	0,15	
Зона влияния кирпичных заводов	0,2	0,60	0,39
	1,4	0,38	
	2,0	0,17	
Рекреационные	--	0,09	0,12
		0,15	
Транспортные			0,11
		0,11	

В аналогичном исследовании 2013 года среднее содержание фтора в талой снеговой воде в зоне влияния кирпичных заводов составляло 1,24 мг/дм³, в зоне влияния ГРЭС-2 – 0,10 мг/дм³ [7]. При сравнении полученных данных с данными приведённого исследования можно сделать вывод, что содержание фтора вблизи кирпичных заводов снизилось почти в 3 раза, вблизи ГРЭС-2 – почти в 2 раза. В сельских населённых пунктах в районах Томской области, где отсутствуют промышленные предприятия, концентрация фтора в снеговом покрове составляет в среднем 0,05 мг/дм³ [7]. Концентрация фтора вблизи кирпичных заводов и ГРЭС-2 может быть обусловлена минеральным составом сырья, используемого на данных предприятиях: на кирпичных заводах – глины, на ГРЭС-2 – каменные угли [3].

Таблица 2

Содержание фтора в почвенном покрове в функциональных зонах г. Томска

Содержание фтора в почвенном покрове в функциональных зонах с. Толмаки			
Зона	Расстояние от объекта, км	Содержание водорастворимого фтора, мг/кг	Среднее значение, мг/кг
Зона влияния ГРЭС-2	0,5	2,43	2,69
	1,0	3,37	
	1,5	3,65	
	2	1,32	
Зона влияния кирпичных заводов	0,2	9,84	8,01
	1	9,44	
	2,0	4,75	
Рекреационные	--	2,30	2,72
		3,92	
		1,93	
Транспортные		3,84	3,80
		3,09	
		3,18	
		5,11	

Исследование содержания водорастворимого фтора в почвенном покрове показало, что в зоне влияния кирпичных заводов содержание фтора достигает максимума в точке 0,2 км и далее по мере удаления от объектов снижается почти в 2 раза (табл. 2). В зоне влияния ГРЭС-2 содержание фтора по мере удаления от объекта незначительно возрастает с пиком в точке 1,5 км, а затем резко снижается на расстоянии 2 км. Концентрация фтора в почвенном покрове вблизи кирпичных заводов в 2 раза выше, чем вблизи ГРЭС-2. Значения не превышают норматив (10 мг/кг) [6] в изучаемых функциональных зонах, но в районе кирпичных заводов значение близко к нему (8,01 мг/кг).

Сопоставление результатов исследований по снеговому и почвенному покрову демонстрирует закономерность в зоне влияния кирпичных заводов концентрация фтора достигает максимума вблизи объектов и далее снижается, в зоне влияния ГРЭС 2 концентрация достигает максимума на расстоянии 1,3–1,6 км. Наибольшее содержание фтора в снеговом и почвенном покрове в г. Томск отмечается в зоне влияния кирпичных заводов.

Литература

1. Bombik E. et al. The effect of environmental contamination by fluorine compounds on selected horse tissues // Polish Journal of Environmental Studies. – 2011. – Т. 20. – № 1. – С. 37-43.
2. Васильева Т.В. О влиянии выбросов алюминиевого завода на содержание фторидов в почве с учетом некоторых климатических факторов // Молодой ученый. – 2017. – № 16. – С. 213-217.
3. Жовинский Э. Я. Геохимия фтора в осадочных формациях юго-запада Восточно-Европейской платформы. – Наукова думка, 1979.
4. Никифорова В.А., Варданян М.А., Лапина С.Ф. Химические и эколого-биологические особенности фтора в окружающей среде // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. – 2021. – Т. 1. – С. 245-250.
5. Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения [Электронный ресурс]: приказ Министерства сельского хозяйства РФ от 13.12.2016 № 552. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/420389120>
6. Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания" [Электронный ресурс]: постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28.01.2021 №2. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/573500115#656010>
7. Поликанова С.А., Самохина Н.П., Филимоненко Е.А. Оценка загрязнения фтором снегового покрова г. Томска и его окрестностей // Проблемы геологии и освоения недр. – 2013. – С. 601-603.
8. Ревич Б.А. и др. Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве (утв. главным государственным санитарным врачом СССР от 15.05. 1990 № 5174-90). – М.: ИМГРЭ, 1990 // URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293736/4293736062.pdf> (18.05. 2022). – 1990. – С. 15.
9. Сает Ю.Е. и др. Геохимия окружающей среды. – М.: Недра, 1990. – С. 335.
10. Янин Е.П. Фтор в окружающей среде (распространенность, поведение, техногенное загрязнение) // Экологическая экспертиза. – 2007. – Т. 4. – С. 2-98.

ОРГАНИЧЕСКИЕ ВЕЩЕСТВА СЛОЁВ МЕРЗЛОТЫ ОСТРОВА САМОЙЛОВСКИЙ В ДЕЛЬТЕ РЕКИ ЛЕНА

Артюшкина П.А.^{1,2}, Мухортина Н.А.¹, Король И.С.¹

Научный руководитель доцент Е.М. Березина²

¹Томский филиал Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, г. Томск, Россия

²Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия

Исследования и мониторинг Арктического региона необходимы для оценки степени загрязнения природных объектов и контроля экологической обстановки данного региона. На данный момент сведений о составе органических веществ зон Арктического региона крайне мало [1, 2]. Повышенное внимание уделяется изучению гуминовых веществ торфов, а также полиароматических структур природной зоны Арктики.

Одной из ключевых групп органических веществ торфов и зон многолетних мерзлот являются гуминовые вещества – смесь высокомолекулярных соединений сложного строения. Они могут высвобождают металлы из донных отложений, образуя водорастворимые комплексы, что способствует формированию устойчивых соединений и, как следствие, снижению токсичности металла и его дальнейшему влиянию на природные объекты и живые организмы [2].

В ходе нашей работы были выделены гуминовые вещества из образцов над- и подмерзлотного слоя о. Самойловский, изучены методом ИК-спектроскопии (рисунок) на ИК-Фурье спектрометре Nicolet 6700 (Thermo Scientific, США). Отбор проб был проведен в августе 2023 г.

Максимальная интенсивность полос поглощения в спектрах гуминовых веществ (ГВ) образцов торфа отмечена для гидроксильных, карбонильных групп, алифатических и ароматических фрагментов, рассчитаны условные соотношения структур в гуминовых веществах (ГВ), выделенных из торфов (табл. 1).

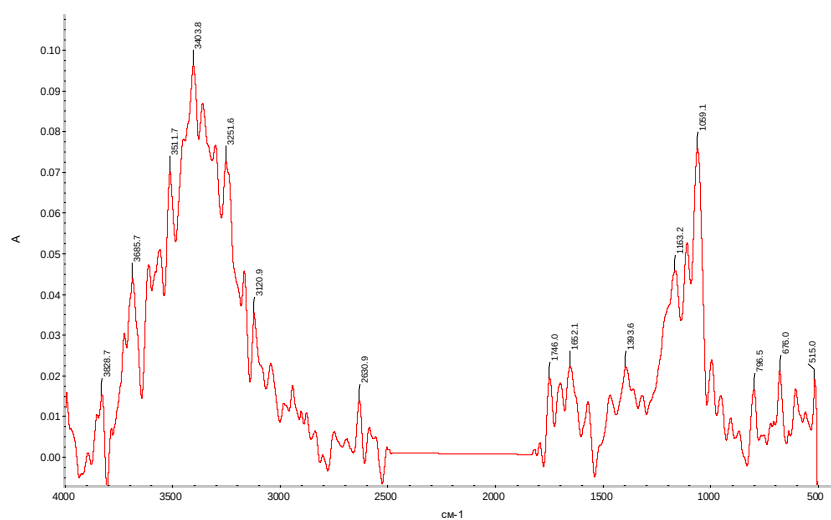


Рис. ИК-спектр поглощения гуминовых веществ, выделенных из образца торфа о. Самойловский

Таблица 1

ИК спектральные характеристики гуминовых веществ слоев торфа о.Самойловский

Соотношение	Слой торфа	
	надмерзлотный	подмерзлотный
D ₉₇₅ /D ₇₂₅ условное соотношение нафтенных и парафиновых структур	1,685	2,648
D ₁₆₁₀ /D ₁₄₆₅ Условное соотношение ароматических структур	0,504	0,894
D ₇₂₅ /D ₁₄₆₅ Условное содержание парафиновых структур	0,452	0,765
D ₁₀₃₀ /D ₁₄₆₅ Условное содержание -S=O групп	2,205	3,576
D ₁₇₁₀ /D ₁₄₆₅ Условное содержание -C=O групп	0,980	0,659
D ₁₃₈₀ / D ₇₂₀ Разветвленность парафиновых структур	1,680	1,625

Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) – это вторая группа органических соединений, состоящая из двух и более соединенных бензольных колец и требующая детального изучения. Они способны накапливаться в природных объектах, в течение долгого времени сохранять свои структуру и свойства (например, канцерогенность и мутагенную активность). Способность растворяться в жирах обеспечивает их накопление в биоте за счет внедрения в богатые жирами полярные пищевые цепи. Сочетание суровых климатических условий с физико-химическими свойствами ПАУ может сделать полярные регионы зоной их наибольшей аккумуляции [4].

В нашей работе был изучен состав и распределение полиароматических углеводородов образцах многолетних мерзлот острова Самойловский (табл. 2).

Таблица 2

Содержание полиароматических углеводородов в образцах, мкг/л

ПАУ	о. Самойловский		
	надмерзлотный слой	ледяная жила	подмерзлотный слой
	шифр образца		
	1	2	3
Нафталин (Naph)	0,5100	0,0341	3,3322
2-Метилнафталин (2-MeNaph)	0,4162	0,0528	2,8906
Флуорен (Flu)	0,8285	0,1199	1,4459
Фенантрен (Phe)	3,7901	0,1665	136,3013
Антрацен (Antr)	1,0891	0,0479	1,4909
Флуорантен (Flt)	0,9917	0,0964	15,3745
Пирен (Pyr)	0,4518	0,0785	0,1815
Бензо(а)антрацен(B[a]A)	1,1891	0,1313	1,0154
Хризен (Chr)	1,4008	0,0964	0,7701
Бенз(б)флуорантен (B[b]F)	1,2679	0,0377	2,6371
Бенз(к)флуорантен (B[k]F)	1,1376	0,0377	1,0722
Бенз[а]пирен (B[a]P)	-	0,0609	-
Дибенз(аh)антрацен (D[a,h]A)	2,5218	0,2571	2,8306
Σ НМ	6,6340	0,4212	145,4609
Σ ВМ	8,9607	0,796	23,8815
Σ ПАУ	15,5946	1,2172	169,3424
Σ ВМ/ Σ НМ	1,35	1,89	0,16

Определение индивидуальных полиароматических соединений проводили методом высокоэффективной жидкостной хроматографии на приборе LC-20 (Shimadzu, Япония) в интервале 190-500 нм. Для количественного определения сигнал регистрировался на длине волны 254 нм. В пробах были определены индивидуальные ПАУ, входящие в список приоритетных поллютантов для оценки и контроля состояния окружающей среды. Нафталин, 2-метилнафталин, флуорен, фенантрен и антрацен относятся к группе низкомолекулярных соединений (НМ); остальные ПАУ – к высокомолекулярным (ВМ).

Установлено, что образцы ледяной жилы наиболее обогащены низкомолекулярными индивидуальными полиаренами, такими как фенантрен и флуорен. Среди высокомолекулярных ПАУ наибольшим содержанием обладают бенз- и дибензантрацен. Для надмерзлотного слоя о. Самойловский наибольшим содержанием обладают фенантрен и антрацен среди низкомолекулярных, хризен и дибензантрацен среди высокомолекулярных ароматических структур. В подмерзлотном слое зафиксированы высокие концентрации фенантрена и нафталина, а также флуорантена, бенз(б)флуорантена и дибензантрацена. Повышенные содержания фенантрена и хризена в образце подмерзлотного слоя о. Самойловского могут быть связаны со способностью почвы генерировать фенантрен и хризен из погребенной в них биомассы [3].

Полученные результаты позволили рассчитать индикаторные соотношения для определения вероятных источников поступления ПАУ в природную среду. Соотношения $Antr/(Antr+Phen)$, $BaA/(BaA+Chr)$, $B[a]P+Pyg/(Phen+Chr)$ обычно используют для установления источника их образования или происхождения. Для изучаемых образцов соотношение $(B[a]P+Pyg)/(Phen+Chr)$ не превышает 1 и указывает на преобладание пирогенного характера возникновения ПАУ. $BaA/(BaA+Chr)$ находится в интервале от 0.45 до 0.57, что соответствует преобладанию пирогенного характера возникновения ПАУ. Значение соотношения $Antr/(Antr+Phen)$, не достигающее значения 0.1 для образца подмерзлотного слоя, можно отнести к ситуации, что источники ПАУ носят смешанный характер и имеют как петрогенную, так и пирогенную природу. Значения, превышающие 0.1, указывают на преобладание пирогенного возникновения ПАУ в образцах надмерзлотного слоя и ледяной жилы.

Важно понимать, что в полученные значения вносят вклад исходные биологические полиароматические структуры природной территории, которые необходимо учитывать при более детальном анализе и мониторинге, а также принимать во внимание реальную ситуацию с территории, где был произведен отбор образцов для анализа.

Таким образом, получены новые данные о составе гуминовых веществ и наиболее приоритетных ПАУ в образцах слоев мерзлоты о. Самойловский для оценки и контроля состояния окружающей среды.

Исследование выполнено в рамках проекта фундаментальных научных исследований РАН № 0266-2022-0016

Литература

1. Guzeva A.V., Krylova E.A., Fedorova I.V. Environmental aspects of molecular composition of humic acids isolated from lake sediments of a permafrost-affected area of the Arctic // Polish Polar Research. – 2021. – С. 173-191.
2. Гузева А.В., Слуковский З.И. Геохимическая характеристика гуминовых кислот, выделенных из отложений тундровых озер Мурманской области // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2023. – № 1. – С. 78-92.
3. Орлов Д.С., Осипова Н.Н. Инфракрасные спектры почв и почвенных компонентов. – 1988.
4. Ровинский Ф.Я. Фоновый мониторинг полициклических ароматических углеводородов. – Гидрометеиздат, 1988.
5. Цибарт А.С., Геннадиев А.Н. Полициклические ароматические углеводороды в почвах: источники, поведение, индикационное значение (обзор) // Почвоведение. – 2013. – № 7. – С. 788-788.

РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА СОРБЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ ИНЖЕНЕРНЫХ БАРЬЕРОВ БЕЗОПАСНОСТИ НА ОСНОВЕ ГЛИНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ **Баранов Д.Ю., Мурлис Д.В., Познизов А.В., Верещагин П.М., Муслимов Д.Д., Скворцов М.В.** *Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности, г. Москва, Россия*

Инженерные барьеры безопасности (ИББ) являются основными элементами пунктов захоронения радиоактивных отходов (ПЗРО), обеспечивающими долговременную безопасность населения и окружающей среды. Выход радионуклидов из ПЗРО возможен в случае контакта влаги с ИББ. От солевого состава контактирующей влаги с материалами ИББ будет зависеть их сорбционная способность [1]. В настоящей работе проведено расчетно-экспериментальное исследование влияния преобладающего содержания сульфатов и карбонатов в растворе на сорбцию U и Sr глинистым материалом ИББ. Уран выбран для исследования, так как представляет опасность в течение длительного времени (например, $T_{1/2} (^{238}\text{U}) = 4,5$ млрд лет), а стронций, так как может составлять конкуренцию изотопам урана за сорбционные места на поверхности минералов ИББ.

Экспериментальная часть

В качестве материала ИББ для исследований был выбран бентонит месторождения 10-й Хутор (Республика Хакасия), который широко используется в концепциях ПЗРО. Содержание в бентоните монтмориллонита – 67 %, минералов группы полевых шпатов – 14 %, кварца – 11 %, иллита – 4 %, кальцита – 2 %, каолинита, гипса и анатаза – < 3 %. Для лабораторного определения влияния минерализации контактирующего раствора и pH на сорбцию U и Sr на образце бентонита были приготовлены 3 модельных раствора, имитирующих возможный состав подземных вод на площадке размещения ПЗРО: 1) раствор (pH = 7,5), имитирующий слабоминерализованные подземные воды (далее – слабоминерализованная вода); 2) раствор (pH = 11,5), имитирующий среднеминерализованные подземные воды с преобладанием карбонатов (далее – карбонатная вода); 3) раствор (pH = 3,2), имитирующий

среднеминерализованные подземные воды с преобладанием сульфатов (далее – сульфатная вода). Содержание твердой фазы – 40 г/л. Образцы бентонита трижды промывали исходными растворами, не содержащими радионуклиды, путем центрифугирования с ускорением более 1400 g в течение 30 минут для устранения эффекта низкой селективности сорбционных центров бентонита в присутствии катионов близкого заряда [11]. Затем к навеске образца вносили аликвоту модельного раствора, содержащей U и Sr в нитратной форме, измеряли pH и помещали на орбитальную центрифугу с ускорением более 1400 g. После уравнивания раствор отделяли центрифугированием с ускорением 20000 g в течение 20 минут. Определение содержания U и Sr в надосадочной жидкости проведено в трехкратной повторности методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ICPMS Shimadzu-2030 LF). Коэффициент распределения рассчитывали по разнице концентрации U и Sr, внесенных и оставшихся в растворе после взаимодействия, по формуле [5]:

$$Kd = \frac{C_0 - C}{C} * \left(\frac{V}{m}\right),$$

где C_0 – содержание радионуклида в растворе до начала сорбции, мг/г; C – равновесное содержание радионуклида в растворе, мг/л; V – объем раствора, мл; m – масса образца, г.

Для оценки сорбционной способности было подготовлено 3 бюкса с навеской промытого и высушенного образца массой 2 г, к которым добавляли по 50 мл модельного раствора, содержащего U и Sr. Время установления равновесия принималось равным 5-ти суткам.

Расчетная часть

Для расчетной оценки сорбционной способности бентонита по отношению к U и Sr использовалась программа для ЭВМ PHREEQC [10].

В расчетах принималось, что сорбция происходит только на монтмориллоните, т. к. содержание этого минерала в бентоните значительно преобладает над другими, обладающими сорбционной способностью. Для монтмориллонита принято: емкость катионного обмена – 87 мг-экв/100 г, количество сорбционных центров – $1,0 \cdot 10^{-4}$ моль [6], удельная поверхность – 56,4 м²/г [5]. Расчеты проведены для реакций комплексообразования U и Sr и ионного обмена U на Ca, Na и Sr на Na [3, 4, 8, 9]. Результаты расчетов сопоставлялись с результатами, полученными экспериментально.

Результаты

1. Расчетные значения K_d (U, Sr) для всех типов модельных растворов в целом в пределах погрешности совпадают с экспериментальными значениями (таблица).

Таблица

Значения коэффициента распределения урана и стронция в различных типах модельных вод

Тип модельного раствора	Слабоминерализованная вода		Сульфатная вода		Карбонатная вода	
Сорбционный параметр	K_d (U), см ³ /г	K_d (Sr), см ³ /г	K_d (U), см ³ /г	K_d (Sr), см ³ /г	K_d (U), см ³ /г	K_d (Sr), см ³ /г
Экспериментальный	91±10	90±6	119±9	29±4,5	2,7±0,9	1920±280
Расчетный	87	82	114	39	3,4	1629

2. Слабоминерализованная вода. При взаимодействии модельного раствора с бентонитом его pH практически не меняется. Преобладающими соединениями урана в растворе после взаимодействия с бентонитом являются устойчивые комплексы $UO_2(CO_3)_3^{2-}$ и $UO_2(CO_3)_3^{4-}$, сорбция урана обусловлена нейтральной обстановкой [2]. Sr находится в модельном растворе преимущественно в ионной форме и в соединении с сульфатами. Основная сорбция ионного стронция происходит по механизму ионного обмена.

3. Карбонатная вода. Преобладание гидрокарбонат-ионов в растворе стабилизирует pH в щелочной области, что приводит к снижению K_d (U) за счет образования уранил-карбонатных комплексов. Расчет основных форм урана и стронция показал, что 99 % U находится в растворе в форме $UO_2(CO_3)_3^{4-}$, 65 % Sr находится в соединениях с карбонатами, 25 % Sr – в ионной форме, 17 % Sr – в соединениях с сульфатами. K_d (Sr) значительно превышает (почти на 3 порядка) K_d (U).

4. Сульфатная вода. За счет высокой буферной емкости бентонита равновесный pH раствора стабилизируется в нейтральной области. Основными формами урана являются UO_2SO_4 (67 %) и UO_2^{2+} (20 %). Основная сорбция обусловлена осаждением уранил-иона за счет депротонирования краевых сорбционных центров силанольных групп монтмориллонита. Также, как и в слабоминерализованной воде основными соединениями Sr являются сульфатная и ионная формы. K_d (Sr) в слабоминерализованной воде выше за счет меньшего количества труднорастворимого соединения $SrSO_4$ – $8,5 \cdot 10^{-5}$ в сульфатном растворе, $5,4 \cdot 10^{-5}$ – в слабоминерализованной воде; и за счет большего количества Sr в ионной форме.

Таким образом, преобладание карбонатов в растворе обуславливает максимальную сорбцию Sr в условиях проведенного исследования, что главным образом, определяется сорбцией Sr по механизму ионного обмена и образованием малорастворимого $SrCO_3$. Низкая сорбция U обусловлена формированием устойчивых карбонатных соединений и высоким значением pH. Увеличение сорбции U в сульфатной воде определяется значительным количеством радионуклида в форме уранил-иона, который активно сорбируется по механизму комплексообразования, а снижение сорбции Sr в сульфатной воде обусловлено образованием устойчивых сульфатных комплексов, препятствующих ионообменной сорбции.

Значительное влияние на сорбцию радионуклидов глинистыми материалами ИББ оказывает изменение химического состава модельных вод, имитирующих подземные. Исходя из полученных результатов, целесообразно уделять особое внимание определению состава контактирующих вод с ИББ.

Литература

1. Bachmaf, S. Effect of sulfate, carbonate, and phosphate on the uranium (VI) sorption behavior onto bentonite [Text] / S. Bachmaf, B. Planner-Frierich, B. Merkel // *Radiochimica Acta*. – 2008. – V. 96(6). – P. 359-366. DOI:10.1524/ract.2008.1496
2. Bachmaf, S. Sorption of uranium (VI) at the clay mineral-water interface [Text] / S. Bachmaf, B. Merkel // *Environmental Earth Science*. – 2010. – V. 63(5). – P. 925–934. DOI: 10.1007/s12665-010-0761-6.
3. Baqer, Y. Analysis of uranium sorption in a laboratory column experiment using a reactive transport and surface complexation model [Text] / Y. Baqer, S. Thornton, D.I. Stewart // *Transport Porous Media*. – 2023. – V. 149. – P. 423-452. <https://doi.org/10.1007/s11242-023-01956-y>
4. Boldyrev K. A. et al. Simulation of strontium sorption onto rocks at high concentrations of sodium nitrate in the solution // *Radiochemistry*. – 2016. – T. 58. – C. 243-251.
5. Borovec, Z. The adsorption of uranyl species by fine clay [Text] / Z. Borovec // *Chemical Geology*. – 1981. – V. 32(4). – P. 45-58.
6. Bradbury M.H. Sorption of Eu on Na- and Ca-montmorillonites: Experimental investigations and modelling with cation exchange and surface complexation [Text] / M.H. Bradbury, P. Baeyens // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. – 2002. – V. 66(13). – P. 2325-2334.
7. Fernández R. et al. Alteration of compacted bentonite by diffusion of highly alkaline solutions // *European Journal of Mineralogy*. – 2009. – T. 21. – № 4. – C. 725-735.
8. Garrido V. Sorption mechanism of Sr (II) in natural bentonite [Text] / V. Garrido, M. Martinez, J. de Pablo, T.E. Eriksen, L. Duro, J. Bruno // *Goldschmidt Conference Toulouse*. – 1998. – V. 62. – P. 502-503.
9. Guimarães, V. Properties of Ca-Montmorillonite from Benavila Region (Portugal) / V. Guimarães, I. Bobos, F. Rocha // *Comunicacoes Geologicas*. – 2014. – V. II. – P. 791-794.
10. Parkhurst D.L. et al. Description of input and examples for PHREEQC version 3—a computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations // *US geological survey techniques and methods*. – 2013. – T. 6. – № A43. – C. 497.
11. Методика измерения коэффициента распределения радионуклидов для характеристики барьерных глинистых материалов. ФГБОУ университет им. М.В. Ломоносова. ФР.1.31.2022.44412. – Москва, 2022. – С. 22.

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА УЛИЧНОЙ ПЫЛИ В ПРОМЫШЛЕННО-СЕЛИТЕБНЫХ РАЙОНАХ Г. КРАСНОЯРСКА
Беспалова А.И.

Научный руководитель профессор А.В. Таловская

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Красноярск – крупный промышленный город Сибири, отличающийся высоким уровнем антропогенного воздействия. Преобладающими отраслями промышленности являются цветная металлургия, машиностроение и металлообработка [3]. Согласно ежегодным государственным экологическим докладам о состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае уровень загрязнения атмосферного воздуха г. Красноярска в последние годы является очень высоким за счет превышений ПДК по бенз(а)пирену, формальдегиду, взвешенным веществам, взвешенным частицам РМ₁₀ и марганцу [1].

В летнее время года объектом для оценки состояния окружающей среды на промышленно-урбанизированных территориях является уличная (дорожная) пыль [4]. Уличная пыль – это неоднородный материал, осаждаемый на городской асфальтированной поверхности и включающий в себя частицы почвы, органические остатки и частицы от движения транспортных средств, промышленных выбросов, городского строительства и дорожного покрытия [8].

Целью работы является оценка эколого-геохимического состояния территории г. Красноярска на основе изучения состава уличной пыли.

Отбор уличной пыли и почвогрунтов на территории г. Красноярска осуществлялся автором в районах города, соответствующих расположению промышленных предприятий (алюминиевый завод, завод цветных металлов, ТЭЦ, стройиндустрия), селитебным и рекреационным зонам. Также были отобраны пробы почв в условно фоновых территориях – в районе национального парка «Красноярские Столбы» (13 км от города) и в Емельяновском районе (20 км от города). Отбор и подготовка 39 проб уличной пыли выполнялись согласно литературным публикациям [4–8], а 32 проб почвогрунтов – ГОСТ 17.4.3.01-2017.

Изучение элементного состава проб выполнено методом инструментального нейтронно-активационного анализа (ИНАА) по аттестованной методике в аккредитованной ядерно-геохимической лаборатории на базе исследовательского ядерного реактора ИРТ-Т ТПУ (аналитики – Судыко А.Ф., Богутская Л.В.). Определение содержания ртути в пробах осуществлялось методом атомно-абсорбционной спектроскопии на ртутном анализаторе «РА-915+» с пиролизической приставкой «ПИРО-915+» в лабораториях МИНОЦ «Урановая геология» ТПУ (при консультации к.х.н., доцента ОГ ТПУ Осиповой Н.А.). Всего определено содержание 29 элементов в пробах.

Для оценки степени обогащения уличной пыли химическими элементами производился расчет коэффициентов обогащения (К_е) [4–8] относительно кларка земной коры [2] и содержания элементов в почвогрунтах города, так как уличная пыль может включать как частицы горных пород, так и почвогрунтов:

$$K_e = \frac{\left(\frac{C}{C_{\text{норм}}}\right)_{\text{проба}}}{\left(\frac{C}{C_{\text{норм}}}\right)_{\text{земн. кора/почвогрунт}}}$$

где C и $C_{\text{норм}}$ – содержание интересующего и реперного элемента (в данном случае Sc) в пробе, земной коре или почвогрунте.

Значения K_c более 1 указывают на антропогенные источники поступления химических элементов, а K_c менее 1 – на литогенную природу элементов. При изучении состава уличной пыли используется градация по K_c : < 2 – низкое обогащение металлами, что указывает на отсутствие или минимальное загрязнение; 2–5 – умеренное обогащение и умеренное загрязнение; 5–20 – значительное обогащение и загрязнение; 20–40 – очень высокое обогащение и очень сильное загрязнение; > 40 – чрезвычайно высокое обогащение и загрязнение [6].

Для оценки уровня загрязнения уличной пыли изучаемыми химическими элементами производился расчет индекса геоаккумуляции (I_{geo}) [5]:

$$I_{\text{geo}} = \log_2 \left(\frac{C}{1.5 \cdot C_{\text{ф}}} \right)$$

где C – содержание химического элемента в пробе, мг/кг; $C_{\text{ф}}$ – содержание химического элемента в почвогрунтах фоновой территории, мг/кг.

Согласно градации значений I_{geo} уровень загрязнения составляет: низкий ($I_{\text{geo}} < 0$); от низкого до умеренного ($0 < I_{\text{geo}} < 1$); умеренный ($1 < I_{\text{geo}} < 2$); от умеренного до высокого ($2 < I_{\text{geo}} < 3$); высокий ($3 < I_{\text{geo}} < 4$); от высокого до очень высокого ($4 < I_{\text{geo}} < 5$); чрезвычайно высокий ($I_{\text{geo}} > 5$).

Геохимическая характеристика почвогрунтов проанализирована с помощью коэффициента концентрации (K_c) [4]:

$$K_c = \frac{C}{C_{\text{ф}}}$$

где C – содержание химического элемента в пробе почвогрунтов города, мг/кг; $C_{\text{ф}}$ – содержание химического элемента в почвогрунтах фоновой территории, мг/кг.

Согласно определенным коэффициентам концентрации в почвогрунтах города интенсивно накапливаются элементы Au ($K_c = 3,2$) и Sr ($K_c = 2,6$), а менее активно накапливаются Sb , As , Zn ($1,6 < K_c < 1,8$). Содержание остальных изучаемых элементов (Co , Ca , Sc , Fe , Ba , Br , Tb , Na , Hg , Cs , Rb , Cr , Eu , Sm , Ta , Ce , La , Yb , Lu , Hf , Th , Nd , U) близко к фоновому (рис. 1).

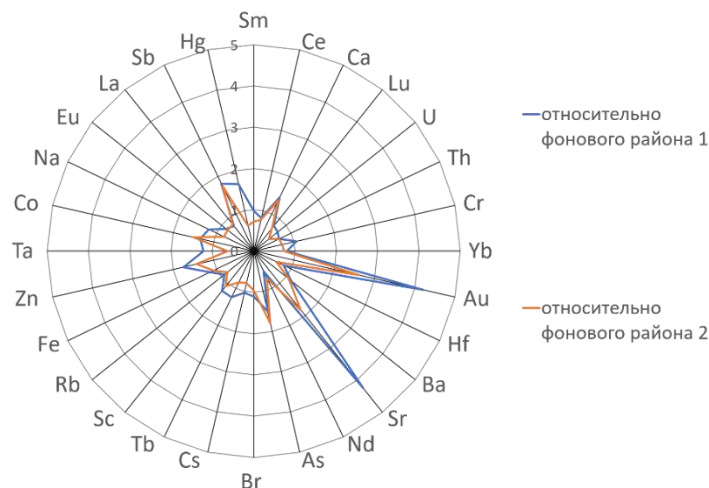


Рис. 1. Коэффициенты концентрации элементов в почвогрунтах на территории г. Красноярск

Результаты определения коэффициентов обогащения уличной пыли относительно почвогрунтов города показали низкую степень обогащения, соответствующую минимальному загрязнению территории изучаемыми элементами ($K_c < 2$). Данные результаты могут быть обоснованы схожими содержаниями элементов в пробах уличной пыли и почвогрунтов, так как уличная пыль в том числе содержит в себе почвенные частицы.

Рассчитанные коэффициенты обогащения уличной пыли относительно кларка земной коры показали низкую степень обогащения и минимальное загрязнение большинством изучаемых элементов (рис. 2). Содержание Sc , Tb , Th , Nd , Rb , Ta , Hg , Cs не превышает кларк земной коры ($K_c < 1$), что может указывать на их литогенную природу.

Умеренным обогащением, соответствующему умеренному уровню загрязнения, характеризуются As , Ca , Sb , Cr , Zn , Co ($2 < K_c < 5$). Значительное обогащение наблюдается для Au ($5 < K_c < 20$), что соответствует значительному уровню загрязнения и, предположительно, может быть вызвано антропогенной деятельностью.

Согласно определенным значениям индексов геоаккумуляции территория города характеризуется низким уровнем загрязнения для большинства элементов, содержащихся в уличной пыли. Значения индексов геоаккумуляции для Ca , Sb , Sr ($0 < I_{\text{geo}} < 1$) в уличной пыли определяют уровень загрязнения от низкого до умеренного на территории города.

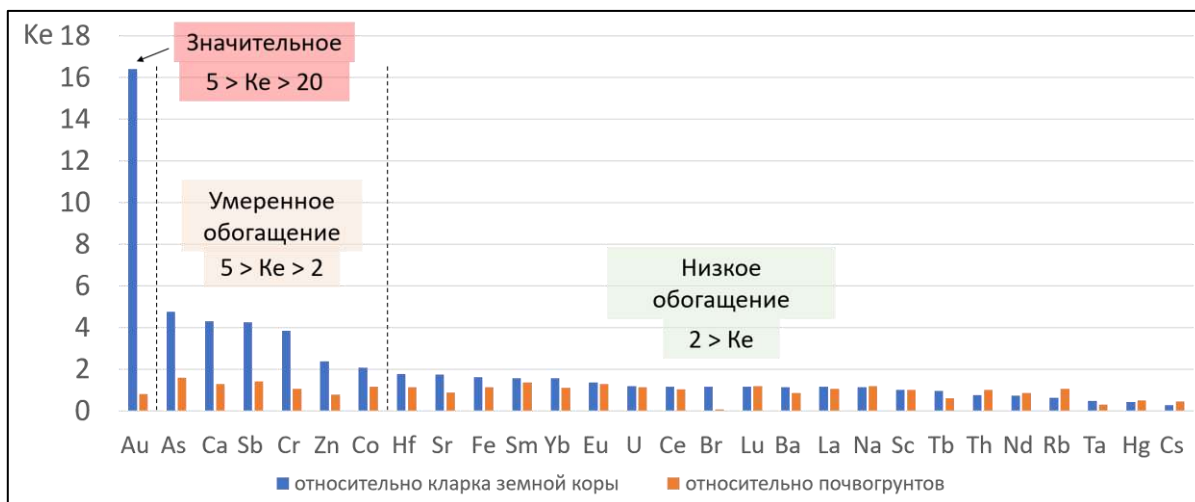


Рис. 2. Степень обогащения уличной пыли химическими элементами на территории г. Красноярск

Таким образом, были рассмотрены особенности химического состава почвогрунтов и уличной пыли г. Красноярск. В результате определены разные уровни загрязнения территории по химическим элементам, содержащимся в уличной пыли города.

Литература

1. Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае в 2023 году» [Текст] – Красноярск, 2024. – 386 с.
2. Григорьев Н.А. Распределение элементов в верхней части континентальной коры / Н.А. Григорьев–Екатеринбург: УРО РАН. – 2009.
3. Официальный сайт Администрации города Красноярск [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.admkrsk.ru/>
4. Касимов Н.С. и др. Геохимия ландшафтов восточной Москвы. – 2016.
5. Zhu, Z. Identification of trace metal pollution in urban dust from kindergartens using magnetic, geochemical and lead isotopic analyses [Text] / Z. Zhu, G. Sun, X. Bi, Z. Li, G. Yu // Atmospheric Environment. – 2013. – V. 77. – P. 9-15.
6. Sutherland R.A. Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii //Environmental geology. – 2000. – T. 39. – С. 611-627.
7. Tang Z. et al. Contamination and health risks of heavy metals in street dust from a coal-mining city in eastern China // Ecotoxicology and environmental safety. – 2017. – T. 138. – С. 83-91.
8. Wei X. et al. Pollution characteristics and health risk assessment of heavy metals in street dusts from different functional areas in Beijing, China //Ecotoxicology and environmental safety. – 2015. – T. 112. – С. 186-192.

РТУТЬ В ПОЧВАХ ФОНОВЫХ И ПЛАНИРУЕМЫХ К ОСВОЕНИЮ ТЕРРИТОРИЙ (НА ПРИМЕРЕ ЗАБАЙКАЛЬСКОГО КРАЯ И ЧУКОТСКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА) Буданова В.В.

Научный руководитель доцент Л.В. Жорняк

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Почва – один из важнейших компонентов природной среды. Химические элементы из почвы поступают в растения и далее вверх по пищевым цепям. В связи с тем, что ртуть является сильнотоксичным, подвижным и летучим металлом, вопросы изучения особенностей формирования и распространения этого тяжелого металла, являются очень важными. На накопление и распределение ртути в почве могут влиять многие факторы. Они могут быть, как природными, так и техногенными. К природным могут относиться различные горные породы и минералы (например, киноварь), которые со временем подвергаются выветриванию с последующей миграцией химических элементов. К техногенным относятся различные объекты промышленности, которые являются источником загрязнения всех компонентов природной среды. На исследуемой территории Забайкальского края промышленность представлена предприятиями стройиндустрии, машиностроения, а также предприятиями добывающей промышленности (добыча бурого угля) и энергетики. Техногенным источником загрязнения ртутью, в первую очередь, может являться уголь, его добыча, дальнейшая переработка и использование в качестве топлива. На территории Чукотского автономного округа известны месторождения и проявления медно-молибден-порфировой и наложенной эпитермальной золото-серебряной рудных формаций [2].

Целью исследования является выявление особенностей распределения ртути в почвах фоновых и планируемых к освоению территорий (на примере Забайкальского края и Чукотского автономного округа).

Отбор и подготовка проб почв на территории Забайкальского края выполнялись согласно ГОСТ 17.4.3.01 – 2017, ГОСТ 17.4.4.02-2017 в рамках гранта РНФ № 20-64-47021 (руководитель – Барановская Н.В.).

Для исследования было отобрано 33 пробы почвы. Пробы почв с территории Чукотского автономного округа предоставлены сотрудниками «ШАНЭКО Сибирь». Отбор и подготовка проб выполнялись в рамках инженерно-экологических изысканий согласно ГОСТ 12071-2000 и СП 502.1325800.2021. Для исследования было предоставлено 8 проб.

Анализ ртути в пробах почв исследуемых территорий проведен в лабораториях ТПУ. Для определения содержания ртути в почвах был использован метод атомно-абсорбционной спектроскопии. Он основан на восстановлении связанной ртути в исследуемых пробах с помощью пиролиза и последующего переноса образовавшейся атомарной ртути из атомизатора в аналитическую кювету воздухом. Работа проводилась на анализаторе ртути «РА-915+» с приставкой «ПИРО-915+» (при консультации к.х.н., доцента ОГ ИШПР ТПУ Осиповой Н. А.). В качестве стандарта использовали стандартный образец почвы СДПС-3 с содержанием ртути 0,290 мг/г.

Для сравнения полученных значений использовали кларки, представленные в таблице.

Таблица

Кларки ртути в почвах мира и земной коре, мг/кг

Кларк по Н.А. Григорьеву	Кларк по А.П. Виноградову [4]	Кларк по А. Kabata-Pendias [1]	
верхняя часть континентальной земной коры	почва	земная кора	почва
0,065	0,05	0,07	0,07

Среднее содержание ртути в пробах почв Забайкалья составляет 0,085 мг/кг, что незначительно превышает приведенные в таблице значения (от 1,2 до 1,7 раз). Минимальное содержание ртути в почве среди всех проб составляет 0,012 мг/кг. Это значение не превышает кларков ртути в почвах и земной коре. Максимальное содержание ртути в исследуемых пробах составило 1,24 мг/кг. Это значение превышает кларки. Данная проба была отобрана в пойме р. Большой Ильдиган. Некоторые исследователи отмечают зависимость содержания ртути в почвах от высоты над уровнем моря, типа ландшафта, типа почв. Ранее в почвах Алтая были также выявлены районы с повышенным относительно других значений по выборке содержанием ртути в почвах в пойме р. Сумульта [3]. Среднее содержание ртути в почвах планируемых к освоению территорий Чукотки составляет 0,025 мг/кг, что не превышает приведенные в таблице значения. Максимально содержание ртути в исследуемых пробах составило 0,046 мг/кг. Это значение не превышает кларки.

Среди всех изученных проб почв Забайкалья в результате исследования в 8 случаях из 33 наблюдается незначительное превышение кларковых значений, а остальные находятся на уровне или ниже. Значения содержания ртути в почвах Чукотки не превышают кларковых значений.

В ходе исследования определено содержание ртути в почвах фоновых и планируемых к освоению территорий (на примере Забайкальского края и Чукотского автономного округа) и выявлено, что большинство значений находятся на уровне фона и не превышают кларки.

Работа выполнена по гранту РНФ № 20-64-47021

Литература

1. Kabata-Pendias, A., Bock Raton, F. L. Trace elements in soils and plants. 4th ed. – USA: CRC Press, 2011. – 505 p.
2. Баймский ГОК. Проект медного месторождения «Песчанка». Обогажительная фабрика. Технический отчет по результатам инженерно-экологических изысканий. 093- 0902-ИЭИ-4а-Т. АО «ГК ШАНЭКО». – Москва, 2022.
3. Барановская Н.В. и др. Ртуть в почвах и растительности на заповедных территориях Приморского края // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2022. – Т. 333. – № 11. – С. 90-100.
4. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. – 1957.
5. Селюкова С.В. Тяжелые металлы в агроценозах // Достижения науки и техники АПК: научная статья в журнале. – Белгород, 2020. – Т. 34. – № 8. – С. 85–93.

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОСАДКОВ ОЗЕРА НИЖНИЙ КАБАН (Г. КАЗАНЬ)

Бурылин Я.О., Юсупова А.Р., Кузина Д.М.

Казанский федеральный университет, г. Казань, Россия

Озеро Нижний Кабан является крупным водоемом, который входит в систему озер Кабан (55°46'30" с. ш. 49°07'25" в. д.), г. Казань. Площадь водного зеркала составляет 590,5 тыс. м², длина – 1,8 км, максимальная ширина – 322 м, максимальная глубина – 17,3 м [3].

Целью настоящей работы является изучение содержания тяжёлых металлов в донных отложениях озера Нижний Кабан, подвергающихся антропогенному воздействию. Данные исследования позволят оценить геоэкологическое состояние озера Нижний Кабан за последние десятилетия.

Проанализированы образцы проб донных отложений озера Нижний Кабан, отобранные в ходе полевых работ в 2024 году. Пробы отобраны при помощи керноотборника гравитационного типа фирмы Uvitec. Длина отобранной керновой составила 19 см (55°46'; 25" с. ш., 49°07'33" в. д.). Шаг отбора – 1 см.

Для всех образцов была измерена магнитная восприимчивость (МВ). Измерения проведены на частоте 976 Гц и амплитуде поля 200 А/м с использованием многочастотного измерителя магнитной восприимчивости Agico Kappabridge MFK1-FA. Для 19 образцов также были получены кривые нормального остаточного намагничивания при

непрерывном росте внешнего магнитного поля до 1.5 Тл. Получены петли гистерезиса одновременно по остаточной и индуктивной намагниченностям. По кривым нормального намагничивания был определен вклад в магнитную составляющую осадка различных компонент озерных отложений: ферромагнитной (k_{ferro}), диа-/парамагнитной (k_{para}) и суперпарамагнитной (k_{super}). Измерения проводились на коэрцитивном спектрометре J_meter [5]. Дифференциальный термомагнитный анализ (ДТМА) по индуцированной намагниченности выполнялся на авторегистрирующих крутильных магнитных весах, действующих по нулевому методу [1, 2]. Измерения проведены для 3 образцов. Для определения элементного состава озерных отложений был применен рентгенофлуоресцентный анализ (РФА). Измерения 6 образцов проводились при помощи рентгенофлуоресцентного спектрометра Bruker S8 Tiger. Рентгеновский дифракционный анализ (XRD) был проведен при помощи рентгеновского дифрактометра D2 PHASER. В ходе исследований были получены дифрактограммы трех исследуемых образцов. Электронная микроскопия была проведена на базе Междисциплинарного центра «Аналитическая микроскопия» КФУ. С целью изучения морфологии и элементного состава минеральных частиц использовался автоэмиссионный сканирующий электронный микроскоп Merlin компании Carl Zeiss (Германия), оснащенный детектором элементного анализа Aztec X-MAX. Разрешение составляет 127 эВ. Методом электронной микроскопии было изучено 2 образца.

Для керновой колонки в нижней части разреза на глубинах 19–9 см значения МВ варьируют в диапазоне $(1,065\text{--}2,075) \cdot 10^{-7} \text{ м}^3/\text{кг}$. Далее значения МВ в верхней части керновой колонки (8–0 см) увеличиваются и изменяются от $3,43 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3/\text{кг}$ до $6,705 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3/\text{кг}$. По Диаграмме Дея нами установлено, что образцы относятся к псевдооднодоменным частицам (ПОД). Выявлено, что больший вклад в магнитную восприимчивость вносит ферромагнитная компонента (k_{ferro}). Результаты ДТМА показали, что образец с глубины 4 см содержит магнетит, который диагностируется на кривой первого нагрева при температуре $\sim 580^\circ\text{C}$, также в образце присутствует существенное количество железа, пик в районе температуры 750°C . Такая высокая температура Кюри и большая площадь пика говорят о его техногенном происхождении. Для образцов с глубин 7 и 15 см методом ДТМА железо не обнаружено. Получены данные по содержаниям главных и рассеянных элементов. Установлено, что осадки озера Нижний Кабан обогащены Са, S по сравнению с глинистыми сланцами. Согласно результатам рентгеновского дифракционного анализа в осадках оз. Нижний Кабан преобладает содержание аллотигенных минералов (до 91 %). Карбонатные минералы представлены кальцитом и доломитом. Также установлено присутствие пирита, аутигенный характер которого установлен при помощи сканирующей электронной микроскопии. Также сканирующая электронная микроскопия позволила установить различные соединения железа в осадках озера Нижний Кабан.

Согласно работе [9] по магнитной восприимчивости можно судить о степени загрязнения Cu, Pb и Zn. Нами было установлено, что МВ осадков озера Кабан также положительно коррелирует с элементами Cu и Zn. При помощи РФА содержание Pb в осадках не установлено. Главными источниками поступления Cu и Zn, вероятно, являются сточные воды, воздушная пыль промышленного происхождения [4, 7, 8]. Также известно, что Zn может поступать в городскую среду в результате истирания автомобильных покрышек при движении транспорта [6]. Основными техногенными источниками Cu также могут быть автотранспорт и стационарные объекты сжигания топлива [6].

Работа выполнена за счет средств субсидии, выделенной Казанскому федеральному университету для выполнения государственного задания проект No FZSM-2023–0023 в сфере научной деятельности

Литература

1. Буров Б.В., Нургалиев, Д.К., Ясонов, П.Г. Палеомагнитный анализ. – Казань: Изд-во КГУ, 1986. – 167 с.
2. Буров, Б.В., Ясонов, П.Г. Введение в дифференциальный термомагнитный анализ горных пород. – Казань: Изд-во КГУ, 1979. – 159 с.
3. Даувальтер В. А. Геоэкология донных отложений озер. – Мурманск: Изд-во МГТУ, 2012. – 242 с.
4. Нургалиев Д.К., Ясонов П.Г. Патент на полезную модель «Коэрцитивный спектрометр» № 81805. Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 27 марта 2009 года.
5. Рыбаков Д.С. и др. Оценка состояния природно-техногенных геосистем в пределах города Петрозаводска и прилегающих территорий // Геология Карелии от архея до наших дней: материалы докладов Всероссийской конференции. Петрозаводск: ИГ КарНЦ РАН. – 2011. – С. 213-218.
6. Савич В.И. и др. Почвенная экология // Орел: Изд-во ОрелГАУ. – 2002.
7. Горшкова А. Т. и др. Характеристика современного состояния озер Кабан по данным батиметрических съемок // Георесурсы. – 2012. – № 7 (49). – С. 3-6.
8. Робсон А.Д. (ред.). Цинк в почвах и растениях: Труды Международного симпозиума «Цинк в почвах и растениях», состоявшегося в Университете Западной Австралии 27–28 сентября 1993 г. – Springer Science & Business Media, 1993. – Т. 55.
9. Yang T., Liu Q., Chan L., Cao G. Magnetic investigation of heavy metals contamination in urban topsoils around the East Lake, Wuhan, China // Geophys. J. Int. – 2007. – V. 171. – P. 603-612.

К ВОПРОСУ О МЕТОДАХ ФИТОТЕСТИРОВАНИЯ ОТХОДОВ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Быкова Е.М.

Научный руководитель доцент С.В. Азарова

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Хвосты обогащения представляют собой мелкодисперсный материал, находящийся на открытой поверхности. В процессе эксплуатации Алтайского горно-обогатительного комбината было сформировано два хвостохранилища для размещения отходов обогащения. В 1995 году Алтайский ГОК признали нерентабельным, деятельность была прекращена. За это время на хвостохранилищах могли образоваться новые соединения, оказывающие токсичное воздействие на окружающую среду. Идентификация компонентов представляет собой сложный и дорогостоящий процесс, а расчетная оценка класса опасности не проводится без установления состава. Фитотестирование является одним из возможных способов определения класса опасности отходов [1].

Целью работы является оценка фитотоксичности материала отходов хвостохранилища Алтайского горно-обогатительного комбината (АГОК).

Методика МР 2.1.7.2297-07 рекомендует проводить фитотестирование отходов, принимая за тест-культуру семена овса (*Avena Sativa L.*). Однако возможно применение семян других наземных растений. Тест-функцией является прорастание корней семян. В эксперименте требуется использовать вытяжку отхода не менее, чем в 3 концентрациях. С помощью методики можно определить общую токсичность и класс опасности отходов, не проводя идентификацию элементов [4].

Собственный эксперимент был поставлен с использованием в качестве тест-растения семян овса (нативный экстракт, 1:1, 1:2, 1:5, 1:10, 1:50) и пшеницы (*Triticum aestivum L.*) (нативный экстракт, 1:1, 1:2, 1:5, 1:10, 1:50, 1:100). Характеристика влияния экстракта отхода и его разведений на семена представлены в таблице 1.

Таблица 1

Характеристика воздействия экстракта отхода и его разведений на семена тест-культур

Тест-культура	Разведение экстракта (R)	Фитоэффект, %	Тест-реакция	LimR	ER ₅₀
Овес	1	66,58	Угнетение	5,715	1,959
	2	56,19	Угнетение		
	3	36,43	Угнетение		
	6	-14,19	Стимулирование		
	11	-24,06	Стимулирование		
	51	-21,42	Стимулирование		
	101	-26,40	Стимулирование		
Пшеница	1	45,11	Угнетение	6,115	1,133
	2	46,91	Угнетение		
	3	36,14	Угнетение		
	6	12,51	Норма		
	11	-0,95	Стимулирование		
	51	-2,66	Стимулирование		

Ингибирование роста корней семян как пшеницы, так и овса зафиксировано в условиях их прямого контакта с нативным экстрактом и его разведениями 1:1, 1:2. Однако при определенной концентрации водная вытяжка отхода оказывает стимулирующий эффект.

Принцип оценки степени опасности отхода основывается на экспериментально установленной зависимости величины фитотоксического эффекта от разведения водного экстракта (рис) с использованием регрессионной модели:

$$\lg R = -mE_T + b,$$

где E_T – фитоэффект, установленный в эксперименте, R – разведение экстракта отхода, m – коэффициент, соответствующий каждому значению фитоэффекта, b – коэффициент регрессии [4].

Согласно данной методике, класс опасности отхода определяется по показателю ER_{50} в соответствии с таблицей 2 [4]. Разведение экстракта, вызывающее фитоэффект в 50 % (средне-эффективное разведение – ER_{50}), получено в пределах 1-10. Полученные результаты экспериментов позволяют предположить, что отходы хвостохранилища АГОК можно отнести к 3 классу опасности.

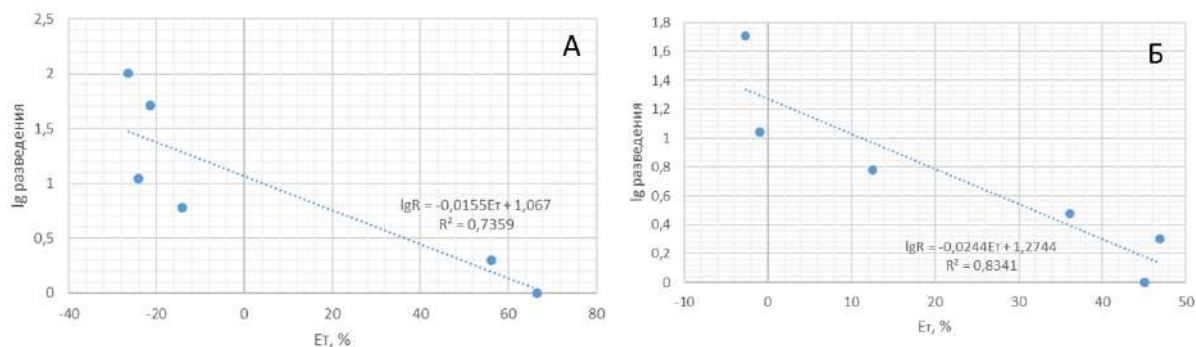


Рис. Графики функции $IgR = f(ET)$: А – пшеница *Triticum aestivum* L., Б – овес *Avena Sativa* L.

Таблица 2

Критерии опасности отходов по фитотоксическому действию [1]

Классы	1	2	3	4
Категории опасности	Чрезвычайно опасные	Высоко опасные	Умеренно опасные	Мало опасные
ER ₅₀	$>10^2$	$>10 \cdot 10^2$	$>1 \cdot 10$	≤ 1

Минимально действующее (пороговое) разведение – $LimR$, т.е. разведение экстракта, при котором фиксируется фитотоксический эффект в 20 %, находится на уровне 1:5. Разведения водного экстракта отхода, превышающие порог, будут безопасны для развития растений [4]. При условии разведения экстракта отхода в 6 раз его негативное воздействие на среду обитания человека маловероятно.

Одновременно с измерением длины подземной части растений, проводились замеры наземной части и рассчитывалась энергия прорастания семян. Для новых тест-функций использована авторская методика Кабирова с соавторами [2]. Для сопоставления результатов эксперимента был рассчитан индекс токсичности фактора (ИТФ) по следующей формуле:

$$ИТФ = \frac{T\Phi_0}{T\Phi_K},$$

где $T\Phi_0$ – тест-функция в опыте, $T\Phi_K$ – тест-функция в контроле [3].

Для обобщения данных применяется среднее значение определяемого индекса для каждого объекта. Общая токсичность пробы или средний индекс токсичности фактора равен 0,63 (табл. 3), что соответствует 3 классу токсичности из 6 возможных по авторской шкале Кабирова [2].

Таблица 3

Рассчитанные значения индекса токсичности фактора

Овес			Пшеница			ИТФ _{ср}
Энергия прорастания	Длина ростка	Длина корня	Энергия прорастания	Длина ростка	Длина корня	
0,65	0,88	0,29	1,09	0,56	0,33	0,63
0.61			0.66			

Таким образом, наблюдается средний уровень фитотоксичности исследуемой пробы отходов. Однако при условии разведения экстракта отхода в соотношении 1:5 и более его негативное воздействие маловероятно.

Литература

- Бикбулатов И.Х. и др. Определение токсичности и класса опасности хвостов обогащения // Башкирский химический журнал. – 2014. – Т. 21. – № 1. – С. 37-39.
- Кабиров Р.Р., Сагитова А.Р., Суханова Н.В. Разработка и использование многокомпонентной тест-системы для оценки токсичности почвенного покрова городской территории // Экология. – 1997. – № 6. – С. 408-411.
- Прусаченко А.В. и др. Фитотестирование в оценке токсичности городских почв // Экология урбанизированных территорий. – 2010. – № 2. – С. 105-109.
- Русаков Н.В. и др. Обоснование класса опасности отходов производства и потребления по фитотоксичности. Методические рекомендации, МР 2.1. 7.2297-07. – М.: Изд-во Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2008.

**ОБЗОР ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА
НА ТЕРРИТОРИИ Г. НОВОКУЗНЕЦКА (КЕМЕРОВСКАЯ ОБЛ.)**

Гашникова А.О., Панфилов В.Д.

Научный руководитель профессор А.В. Таловская

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Современная промышленная деятельность неизменно создает повышенную экологическую нагрузку на урбанизированные территории, особенно ярко проявляющуюся в крупных индустриальных регионах. Одним из таких является город Новокузнецк, расположенный на юге Западной Сибири. Город разделён на шесть административных районов, каждый из которых имеет свою промышленную специфику и вносит вклад в экологическую нагрузку на окружающую среду [2].

Главным промышленным узлом г. Новокузнецк является Заводской район, где сосредоточены крупнейшие предприятия. Ключевым предприятием является Западно-Сибирский металлургический комбинат (ЕВРАЗ ЗСМК), который производит рельсы, сталь и другую металлопродукцию. Вклад в экологическую нагрузку также вносят предприятия по переработке отходов, обогатительные фабрики, деятельность которых связана с угольной промышленностью. В Кузнецком районе промышленная активность охватывает разнообразные отрасли. Ведущими предприятиями являются алюминиевый и ферросплавный заводы. Энергетический сектор представлен крупной угольной ТЭЦ, предприятием по утилизации отходов и фармацевтической компанией. Центральный район также подвержен промышленному загрязнению. Здесь расположена некоторая часть производственной мощности ЕВРАЗ ЗСМК, а также предприятия по переработке вторсырья, электрометаллургический завод и завод металлоконструкций. Орджоникидзевский район характеризуется влиянием угольной и теплоэнергетической промышленности (предприятия, связанные с добычей и переработкой угля, угольные котельные). В Куйбышевском районе основное воздействие на окружающую среду оказывает не промышленность, а транспортный сектор. Через этот район проходят важные автомобильные и железнодорожные магистрали, что приводит к выбросам от транспорта. Кроме того, здесь работают угольные котельные, которые также вносят вклад в загрязнение воздуха. В отличие от промышленных зон в Новоильинском районе не сосредоточены промышленные предприятия и это преимущественно жилая зона [2, 8].

В Докладе о состоянии окружающей среды г. Новокузнецк за 2023 г. отмечено, что более 80 % выбросов приходится на ЕВРАЗ ЗСМК. На втором и третьем месте по вкладу в загрязнение воздуха входят НКАЗ и Кузнецкая ТЭЦ (3,2 %) [2]. Также из доклада о состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области-Кузбасса в 2023 г. отмечено, что за последние годы уровень загрязнения воздуха остается критическим: в 2022 году концентрация бенз(а)пирена достигла 11 ПДК_{с.с.}. Рост концентрации формальдегида до 4 ПДК и взвешенных веществ, включая опасные РМ₁₀ и РМ_{2,5}, до 2 ПДК_{с.с.} указывают на усиление промышленного воздействия на атмосферный воздух [1]. В Ежегоднике по загрязнению почв Российской Федерации токсикантами промышленного происхождения указано, что в 2023 г. зафиксировано превышение содержания тяжелых металлов в городских почвах относительно фоновых показателей [3]. Наибольшая концентрация загрязнителей зафиксирована в Кузнецком районе для Zn и Центральном районе для водорастворимого фтора.

Помимо государственных структур и метеорологических служб исследование почвенного покрова осуществляли в разные периоды с разной детализацией сотрудники новокузнецкие университеты, научные и исследовательские центры (табл.).

Таблица

Обзор работ по исследованию почвогрунтов в г. Новокузнецк в период с 2009 г. по 2014 г.

Автор (год)	Название работы	Основные результаты
Медведская О.О., Волюнкина Е.П. (2009) [5]	Исследование комплексного влияния металлургических предприятий на экологическое состояние г. Новокузнецка	В почвенном покрове выявлено превышение ПДК токсичных веществ, особенно Mo, As и Pb. Наиболее загрязненный район: Центральный (20 ПДК Mo, 120 ПДК As, 35 ПДК Pb).
Захарова М.А., Водолеев А.С., Андреева О.С., Домнин К.И. (2021) [4]	Экомониторинг санитарно-защитной зоны металлургического предприятия: снежный и почвенный покровы	Содержание тяжелых металлов (V, Mn, Sb, Ni, Cu, Zn, Pb, As) в почве не превышает ПДК. Уровень загрязнения классифицируется как допустимый или умеренно опасный, кислотность и содержание нефтепродуктов в норме, бенз(а)пирен превышен только на одной площадке.
Хорошилова Л.С., Табакаева Л.М., Трофимова И.В. (2010) [9]	Влияние экологической ситуации на заболеваемость и демографические показатели Кузбасса	Превышение ПДК зафиксировано по Pb и Cd в зоне влияния промышленных предприятий. Одна проба почвы из зоны применения пестицидов и удобрений оказалась непригодной по гигиеническим стандартам.
Овсянникова С.В. (2010) [6]	Загрязнение окружающей среды и динамика показателей содержания тяжелых металлов в почвах (на примере Кемеровской области)	В Новокузнецке почвы загрязнены тяжелыми металлами, такими как Pb, Zn, Co, Ni и Cd, с тенденцией увеличения их содержания, несмотря на непревышение ПДК.
Подурец О.И. (2014) [7]	Содержание тяжелых металлов в почвенном покрове г. Новокузнецка	Анализ усредненных данных по административным районам показал превышение ПДК по Zn и Pb. Опасный уровень загрязнения отмечен на территории промышленной зоны НКМК по Mn с превышением ПДК в 10 раз и по As – 2-5 раз.

Преимущественно изучалась металлургическая промышленность и ее влияние на почвенный покров, проводился мониторинг на границах санитарно-защитных зон, исследовалась связь между экологическим состоянием и здоровьем населения, а также анализировали динамику загрязнения почв тяжёлыми металлами и металлоидами.

Например, в работе О.О. Медведской совместно с Западно-Сибирским испытательным центром проводилась экологическая оценка всей территории города, согласно программе Государственного центра санитарно-эпидемиологического надзора г. Новокузнецк [5]. В ходе работы было отобрано 132 пробы почвогрунтов во всех районах города по стандартной методике «конверта» (площадка 10×10 м, верхний 5-см слой), включая санитарно-защитные зоны предприятий, жилые кварталы, зоны отдыха и детские площадки. Для контроля использовались фоновые пробы из соснового бора с. Кузедеево. Лабораторный анализ проводился с применением современных методов исследования на содержание тяжелых металлов (Cu, Zn, Pb, Ni, Cr, As, Mo, Bi, Mn) в валовой и подвижной формах и полициклических ароматических углеводородов (16 соединений). В проведенном исследовании было выявлено критическое загрязнение почв мышьяком, свинцом, молибденом, концентрации которых превышающее ПДК от 6 до 20 раз, особенно в Центральном и Кузнецком районах. Установлена прямая связь между уровнями загрязнения и ростом заболеваемости: у жителей вблизи промзон на 30-55 % выше риск болезней крови, дыхательной и сердечно-сосудистой систем. Ключевыми источниками выбросов являются НКМК, алюминиевый и ферросплавный заводы.

В работе А.С. Водолеева совместно с соавторами проводился экомониторинг санитарно-защитных зон металлургического предприятия, включая снежный и почвенный покров [4]. В ходе работы были отобраны пробы на восьми опытных площадках, расположенных на разном расстоянии от предприятия ЕВРАЗ ЗСМК и характеризующихся различными типами почв: пойменными, аллювиально-луговыми, черноземами. Почвенный мониторинг проводился с определением тяжелых металлов (V, Mn, As, Sb, Ni, Cu, Zn, Pb), бенз(а)пирена, нефтепродуктов и серы. В результате проведенной работы выявлено, что на многих пробных площадках санитарно-защитной зоны умеренно опасная категория загрязнения городских почв, поскольку уровни изучаемых металлов оставались в пределах ПДК.

Подурец О.И. в своей работе проводила исследование, которое выявило критическую ситуацию с загрязнением почв Новокузнецка тяжелыми металлами [7]. Наибольшая концентрация вредных веществ зафиксирована в Центральном и Заводском районах, где содержание цинка и свинца превышает ПДК в 3 раза. В Кузнецком районе максимальное загрязнение отмечается вблизи алюминиевого и ферросплавного заводов, тогда как удаленный от промышленности Новоильинский район показывает нормативные показатели. Методология исследования включала отбор проб почвогрунта по международному стандарту ISO 10381-5:2005 с последующим анализом масс-спектрометрией и атомно-эмиссионными методами. В ходе исследования было зафиксировано, что в почвогрунтах Верхней колонии Центрального района наблюдаются превышение по цинку и свинцу (ПДК в 3 раза) и Заводского района (район ЕВРАЗ ЗСМК). Не отмечено превышение ПДК по содержанию тяжелых металлов в Ильинском районе, удаленному от всех крупных промышленных предприятий. Основными источниками загрязнения стали металлургические гиганты – НКМК, ЗСМК, алюминиевый и ферросплавный заводы, а также автомагистрали. В ходе работы также выявлено, что почвы промышленной зоны и прилегающей жилой зоны проспекта Металлургов характеризуются наибольшим спектром тяжелых металлов и различными уровнями их концентрации. При этом суммарный показатель химического загрязнения не превышает допустимого уровня ($Z_c < 16$) для почв городской и промышленной зон. Большая территория, включая все почвы Центрального и Заводского районов, демонстрирует высокий уровень химического загрязнения ($Z_c = 32-128$). Средний уровень ($Z_c = 16-32$) наблюдается в почвах Кузнецкого и Куйбышевского районов, в то время как допустимый уровень зафиксирован только в Ильинском районе, части Орджоникидзевского и пригорода.

В исследовании Е.Г. Язикова также отмечается техногенное воздействие на почвогрунты в г. Новокузнецк [10]. В почвогрунтах отмечается повышенное содержание микроэлементов (Sb, Ca, Ba, Au, Lu, As, La, Sm), которые связаны с металлургическими шлаками и используются для планировки территории. Проведенное исследование показывает, что загрязнение почв носит сочетанный характер, обусловленный совокупностью промышленных выбросов (металлургия, теплоэнергетика, агропромышленный комплекс) и природных факторов.

Таким образом, на основе литературного обзора можно сделать выводы, что предприятия города значительно влияют на состояние почвогрунтов в городе. На сети Росгидромета и в отдельных научных публикациях показаны превышение предельно допустимых концентраций вредных веществ в воздухе (бенз(а)пирен, формальдегид, оксид углерода) и почвах (Zn, Pb, Cd) в разных частях города [1–3]. Однако эти исследования ограничены по спектру изучаемых элементов и проводились мозаично на территории города в разные периоды. В этой связи необходимо провести комплексных площадных эколого-геохимических исследований почвенного покрова на территории Новокузнецка.

Литература

1. Доклад «О состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области- Кузбасс в 2023 году» / Администрация Правительства Кузбасса, Министерство природных ресурсов и экологии Кузбасса. – Кемерово, 2024. – 506 с.
2. Доклад «О состоянии окружающей среды города Новокузнецка за 2023 год» / Комитет охраны окружающей среды и природных ресурсов администрации города Новокузнецка. – Новокузнецк, 2024. – 84 с.
3. Ежегодник. Загрязнение почв Российской Федерации токсикантами промышленного происхождения в 2023 году. – Обнинск: ФГБУ «НПО «Тайфун», 2024. – 121 с.
4. Захарова М.А. и др. Экомониторинг санитарно-защитной зоны металлургического предприятия: снежный и почвенный покровы // Известия высших учебных заведений. Черная Металлургия. – 2023. – Т. 66. – № 5. – С. 538-543.

5. Медведская О.О. Исследование комплексного влияния металлургических предприятий на экологическое состояние г. Новокузнецка – Текст: электронный / О.О. Медведская // Записки Горного института. – 2009. – Т. 181. – С. 173-175.
6. Овсянникова, С.В. Загрязнение окружающей среды и динамика показателей содержания тяжелых металлов в почвах (на примере Кемеровской области) – Текст: электронный / С.В. Овсянникова // Глобальная энергия. – 2010. – № 3(106). – С. 181-185.
7. Подурец О.И. Содержание тяжелых металлов в почвенном покрове г. Новокузнецка // Теоретические и прикладные аспекты современной науки. – 2014. – № 5-1. – С. 136-140.
8. Сайт администрации города Новокузнецк [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.admnkz.info/>.
9. Хорошилова Л.С., Табакаева Л.М., Трофимова И.В. Влияние экологической ситуации на заболеваемость и демографические показатели Кузбасса // СибСкрипт. – 2010. – № 2. – С. 150-154.
10. Язиков Е.Г. Экогеохимия урбанизированных территорий юга Западной Сибири. – 2006.

ДЕТЕКЦИЯ ЧАСТИЦ МИКРОПЛАСТИКА В АКВАТОРИЯХ ПЕТРОПАВЛОВСК-КАМЧАТСКОЙ ГОРОДСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ

Голышев М.Б., Севостьянов Р.А.

Научный руководитель доцент Р.В. Кнауб

Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия

Пластиковые изделия, оказавшиеся в природной среде, со временем разрушаются, образуя большое количество макро-, микро- и наночастиц, которые представляют наибольшую угрозу для водных и наземных экосистем. Плотность пластика близка к плотности воды, что позволяет синтетическому мусору легко перемещаться с водосборных территорий в озера и реки, а затем попадать в акватории Мирового океана. Огромное количество пластика в водоемах выдвинуло эту проблему в перечень глобальных проблем современности. Особое внимание в последнее десятилетие уделяется частицам с размерами менее 5 мм, получившим название «микропластик» [1]. В течение последних лет количество исследований в этой области значительно увеличилось, что привело к существенному расширению знаний о микропластике в природе [2].

Цель работы – тестирование морских и пресных акваторий Петропавловск-Камчатской городской агломерации на содержание микропластика. Это явилось основанием постановки исследований в водоемах Петропавловск-Камчатской агломерации, в ходе которого ставились задачи апробации методов отбора и фильтрации проб воды и получение первых данных о наличии микропластика в исследуемых водоемах. Объектами исследования являлись рекреационная акватория вдоль центральной городской набережной и открытые воды Авачинской губы г. Петропавловска-Камчатского, а также оз. Халактырское и р. Халактырка, впадающая в Тихий океан.

Важность исследования обусловлена тем, что оз. Халактырское – это не только рекреационный, но и рыбохозяйственный водоем, где активно вылавливаются сазан, карась, голец, и понимание уровня «пластикового» загрязнения этого водного объекта поможет оценить степень опасности рыбной продукции для населения. Близость г. Петропавловска-Камчатского определяет большое количество органических взвесей в воде, в акваторию поступают загрязненные воды с застроенных городскими постройками окружающих территорий. Сточные воды различного происхождения поступают с водами впадающей в озеро р. Кирпичной, также значительное антропогенное воздействие на озеро оказывает расположенная на его берегу ТЭЦ-2.

Авачинская губа также имеет как рекреационное, так и рыбохозяйственное значение. Исследования микропластика в водах этой бухты являются рекогносцировочными и помогут уточнить направления исследований по изучению и снижению антропогенного воздействия на морские экосистемы Камчатского края.

Исследования выполнены на рекреационных участках акватории Авачинской губы (центральная набережная) и на станциях комплексного мониторинга Авачинской губы (рис. 1, А), а также в разных частях оз. Халактырское и р. Халактырка (рис. 1, Б) в процессе комплексного эколого-рыбохозяйственного мониторинга, проводимого ежегодно Камчатским филиалом ВНИРО. В совокупности отобрано 70 проб воды. На некоторых станциях отбор проб проводился во всей толще воды на трех горизонтах (поверхностный, термоклин, придонный) для лучшего понимания вертикального распределения микропластика в водоемах.

Методы фильтрации воды. Первичная пробоподготовка отобранных проб воды в лабораторных условиях заключалась в фильтровании проб воды (объем 5 л) через сита из мельничного газа с размером ячеей 100 и 10 мкм и последующим смывом осадка на конечном сите дистиллированной водой в пробники. Пробоподготовка проводилась с использованием специального оборудования (вакуумный насос MILLIPORE Vacuum Pump XF54 230 50, колба Бунзена, фильтровальная воронка, мельничный газ с размером ячеей 100 и 10 мкм, промывалка, пластиковые контейнеры объемом 30 мл).



Рис. 1. Станции отбора проб в Авачинской губе (выделены зеленым) (А) и озере Халактырском (Б)

Непосредственно в основе детекции микропластиковых частиц лежала методика анализа проб, предложенная биологами Томского государственного университета в рамках программы «Микропластик в окружающей среде». Извлечение микропластика из проб воды проводилось по адаптированной методике NOAA [3].

Она включала в себя:

1. Окисление пероксидом водорода: к сухой пробе добавлено 20 мл водного раствора 0,05 М сульфата железа ($7,5 \text{ г FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ доведены до 500 мл дистиллированной водой + 3 мл концентрированной серной кислоты). Смесь оставлена на 5 минут при комнатной температуре, далее нагрета до 50 градусов. В завершение проба была окислена перекисью водорода до полного избавления от органического материала.

2. Для разделения по плотности проба, освобожденная от органического материала, заливается насыщенным раствором NaCl (примерно 6 г NaCl на каждые 20 мл смеси), накрывается фольгой и отстаивается в течение 12 часов.

3. Фильтрация проб под вакуумом через фильтр 0,45 мкм, а после – световой микроскопический анализ частиц на фильтре, сопровождаемый фотофиксацией.

При детальном анализе размерного распределения обнаруженных микрочастиц выявлена четко выраженная зависимость между размером частиц и их количественным соотношением. Статистическая обработка данных продемонстрировала достоверное преобладание ($p < 0,05$) фракции микропластика с размером частиц от 100 до 1500 мкм, доля которой составила в среднем $78,3 \pm 5,6 \%$ от общего количества идентифицированных частиц. В то же время содержание более крупных частиц размером от 1500 до 5000 мкм не превышало $21,7 \pm 4,2 \%$, что подтверждается результатами лабораторного анализа. В большинстве исследованных проб чаще всего встречались микрофрагменты и микроволокна (рис. 2, 3).

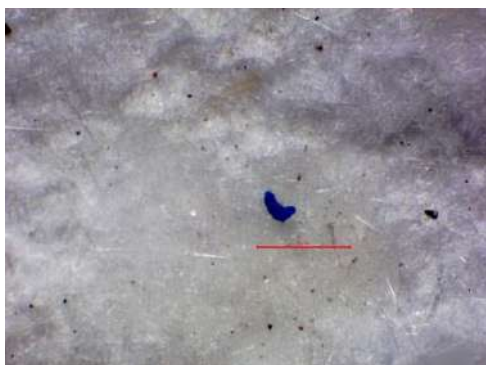


Рис. 2. Пример обнаруженной частицы микропластика в пробах воды из Халактырского озера (длина масштабной линейки 0,5 мм)



Рис. 3. Пример обнаруженной частицы микропластика в пробах воды из Авачинской губы (длина масштабной линейки 0,5 мм)

Таким образом, по результатам рекогносцировочных исследований акваторий Авачинской губы и оз. Халактырское обнаружены многочисленные частицы микропластика. Всё это позволяет судить о наличии микропластикового загрязнения в акваториях Петропавловск-Камчатской городской агломерации. Стоит полагать, что повышенное содержание микропластика в поверхностных водах Авачинской губы и оз. Халактырское, особенно на станциях вблизи населенных пунктов, является прямым следствием интенсивной антропогенной деятельности. Основными источниками загрязнения выступают бытовые и промышленные отходы, недостаточно очищенные коммунальные стоки, содержащие синтетические микроволокна, а также последствия активного судоходства и рыболовного промысла. Значительный вклад вносит и ливневая канализация, транспортирующая в водоемы микрочастицы пластика с селитебной территории. Полученные результаты о загрязнении водоемов Камчатки микропластиком дополняют мировую карту исследований в области пластикового загрязнения водных объектов мира.

Литература

1. Козловский Н.В., Блиновская Я.Ю. Микропластик – макропроблема Мирового океана // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 10-1. – С. 159-162.
2. Микропластик в поверхностных водах рек России / Ю. А. Франк, Е. Д. Воробьев, К. С. Кулиничева, О. А. Кайлер, А.А. Трифонов, Д.С. Воробьев // Глобальные вызовы XXI века и окружающая среда: материалы международной научно-практической конференции, посвященной 10-летию кафедры ЮНЕСКО по устойчивому развитию, в рамках 30-летия Независимости Республики Казахстан. Алматы, Казахстан, 02–03 декабря 2021 г. – Алматы, 2021. – С. 36-38.
3. Masura J., Baker J., Foster G., Arthur C. Laboratory methods for the analysis of microplastics in the marine environment: recommendations for quantifying synthetic particles in water and sediments. NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-48, 2015. – 31 p.

**КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ АНАЛИЗ КОМПОНЕНТ МАГНИТНОЙ ВОСПРИИМЧИВОСТИ
И ПОРОДООБРАЗУЮЩИХ ОКСИДОВ В ПОЧВЕННОМ ПОКРОВЕ
(Г. УФА, РЕСПУБЛИКА БАШКОРТОСТАН)**

Гончаров Г.А.¹, Кузина Д.М.²

Научный руководитель, доцент Соктоев Б.Р.¹

¹*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

²*Казанский федеральный университет, г. Казань, Россия*

Магнитная восприимчивость почвенного покрова широко используется как эффективный и экономичный метод оценки антропогенной нагрузки на территории урбанизированных районов. Этот подход основан на способности техногенных магнитных частиц, таких как магнетит, накапливаться в окружающей среде в результате выбросов от промышленных цехов, автомобильного транспорта и других видов технологических производств. Исследования показывают, что в городских почвах магнитная восприимчивость может быть в десятки раз выше, фоновых значений из-за присутствия крупных мультидоменных частиц, связанных с загрязнением тяжёлыми металлами [5, 8]. Также хорошо изучены корреляционные связи между магнитной восприимчивостью городских почв и содержанием некоторых химических элементов, что делает этот метод популярным для оценки антропогенного загрязнения [4]. Однако влияние геологических характеристик местности на данный показатель остаётся недостаточно изученным. Некоторые исследования показывают, что литогенные факторы, такие как низкое содержание магнитных минералов в материнской породе, могут маскировать антропогенный вклад, снижая чувствительность метода [7]. Это указывает на необходимость дальнейших исследований, чтобы уточнить, как геологический фон – состав пород, тип магнитных частиц и региональная специфика влияет на интерпретацию магнитной восприимчивости как индикатора загрязнения.

В рамках работы проводилось исследование урбанизированной территории города Уфы, представляющего собой город с миллионным населением в Приволжском федеральном округе и отличающегося развитой нефтехимией и металлообработкой. Пробы почвенного покрова (51 шт.), отобранные в августе 2021 и 2022 г. по равномерной площадной сети, были проанализированы на количественное определение пороодообразующих оксидов с использованием метода рентгенофлуоресцентного анализа на кристалл-дифракционном спектрометре ARL Perform'X 4200 (Швейцария) в ЦКП «Геоспектр» Геологического института им. Н.Л. Добрецова СО РАН (г. Улан-Удэ). Исследования компонент магнитной восприимчивости проводились на коэрцитивном спектрометре J_meter [2, 6]. Для образцов в автоматическом режиме измерялись кривые нормального остаточного намагничивания при непрерывном росте внешнего магнитного поля до 1,5 Тл. По кривым нормального намагничивания определен вклад в магнитную составляющую различных компонентов почвогрунта: ферромагнитной (k_{ferro}), диа-/парамагнитной (k_{para}) и суперпарамагнитной (k_{super}).

Использование корреляции Спирмена в данном случае оправдано, поскольку она подходит для анализа выборок с логнормальным распределением, обеспечивая устойчивые результаты при наличии выбросов и неравномерного распределения данных. На основании данных (табл.) можно отметить выраженные различия в зависимости от доменной структуры магнитных частиц. Для диа-/парамагнитной составляющей наблюдается наиболее сильная положительная корреляция с содержанием оксида алюминия (Al_2O_3 , $r = 0,63$), оксида железа (Fe_2O_3 , $r = 0,56$) и оксида титана (TiO_2 , $r = 0,67$), что указывает на значительное влияние этих соединений на магнитные свойства в данной фракции. Также высокая корреляция с оксидом марганца (MnO , $r = 0,6$) и оксидом калия (K_2O , $r = 0,67$) подчёркивает их возможную роль в формировании магнитной восприимчивости. В то же время для ферромагнитной и суперпарамагнитной составляющих корреляции существенно ниже или отсутствуют ($r < 0,25$ для большинства оксидов), что свидетельствует о меньшей зависимости их магнитных величин от состава пороодообразующих оксидов в почвенном покрове.

Таблица

Расчет ранговой корреляции Спирмена между компонентами магнитной восприимчивости и некоторыми породообразующими оксидами

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅
ОБЩАЯ МВ	-0.01	-0.20	0.04	0.16	0.18	-0.19	-0.06	-0.20	-0.15	0.10
Ферромагнитная составляющая	0.01	-0.23	0.01	0.17	0.18	-0.22	-0.07	-0.23	-0.17	0.08
Диа-/парамагнитная составляющая	-0.37	0.63	0.56	-0.35	-0.26	0.67	0.14	0.67	0.60	0.27
Суперпарамагнитная составляющая	-0.23	-0.04	0.15	-0.01	-0.02	0.05	-0.08	0.06	0.16	0.32

Однако особое внимание привлекают значимые отрицательные корреляции, такие как с SiO₂ и CaO ($r = -0,37$ и $-0,35$) для диа-/парамагнитной составляющей. Оксиды кремния (SiO₂) и кальция (CaO) играют ключевую роль в формировании почвенного покрова, особенно в регионах с преобладанием известковых осадочных пород, таких как известняки и доломиты (характерно для исследуемой территории [1]). В почвах, сформированных на основе этих пород, SiO₂, представленный в виде кварца, обычно преобладает в песчаных и глинистых фракциях, обеспечивая структурную стабильность, но его содержание может варьироваться в зависимости от степени выветривания и присутствия других минералов. CaO, в свою очередь, связан с карбонатами, такими как кальцит (CaCO₃), и вторично формируется в результате разложения известняков, обеспечивая почве щелочные свойства.

Положительная корреляция между SiO₂ и CaO с диамагнитной компонентой магнитной восприимчивости почв выглядела бы ожидаемой, поскольку эти минералы обладают диамагнитными свойствами с крайне низкой отрицательной магнитной восприимчивостью. Увеличение содержания этих диамагнитных минералов в почвенном покрове, особенно в регионе с известковыми осадочными породами, таких как г. Уфа, должно было бы сопровождаться ростом доли диамагнитной составляющей. Логично предположить, что чем выше концентрация SiO₂ и CaO, тем больше доминирование диамагнитных свойств, что должно отражаться в положительной корреляции с диамагнитной компонентой, особенно если ферромагнитные и парамагнитные минералы присутствуют в минимальных количествах. Вместе с тем высокая антропогенная нагрузка на урбанизированной территории от воздействия процессов приводящих к выбросам парамагнитных соединений в почвенный покров, использующихся в автомобильной, энергетической, химической и аэрокосмической промышленности, способствует к их накоплению и изменению физико-химических свойств почвенного покрова.

К примеру, антропогенное влияние может приводить к снижению pH почвы [3]. Это способствует растворению кальцита (CaCO₃) и выщелачиванию CaO, что уменьшает его содержание. Также, загрязнение тяжёлыми металлами часто связано с накоплением техногенных частиц (например, пыли от выхлопов, промышленных выбросов, строительного мусора), содержащих оксиды железа (Fe₂O₃), марганца (MnO) или других металлов. Эти частицы могут физически замещать или покрывать минералы, содержащие SiO₂ и CaO, снижая их относительное содержание в общем объёме почвы. Например, частицы магнетита (Fe₃O₄) или гематита, связанные с загрязнением, могут доминировать в верхнем слое почвы, уменьшая долю кварца и кальцита.

Представленные результаты анализа магнитной восприимчивости и её компонентов, включая диа-, пара- и ферромагнитные составляющие, в сочетании с корреляцией с породообразующими оксидами в почвенном покрове урбанизированных территорий, демонстрируют сложные взаимодействия между природными и антропогенными факторами. Отрицательные и слабые корреляции, выявленные в данных, указывают на неоднородность магнитных свойств, обусловленных как геологическим фоном, так и техногенным загрязнением, что затрудняет однозначную интерпретацию результатов. Полученные результаты подчёркивают необходимость дальнейших исследований магнитной восприимчивости и её отдельных компонентов на урбанизированных территориях. Такие исследования должны включать оценку антропогенного воздействия для уточнения механизмов формирования магнитных свойств и разработки эффективных методов мониторинга экологического состояния почв.

Отбор и изучение проб почв выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № FSWW-2023-0010). Измерения на коэрцитивном спектрометре выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № FZSM-2023-0023).

Литература

- Абдрахманов, Р. Ф., Смирнов, А. И. Карст Южного Предуралья и его активизация под влиянием техногенеза // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2016. – № 4. – С. 353-361.
- Нурғалиев Д.К., Ясонов П.Г. (2009) Полезная модель «Коэрцитивный спектрометр». Патент № 81805. Государственный реестр полезных моделей Российской Федерации, 27 марта.
- Прокофьева, Т. В., Мартыненко, И. А., Иванников, Ф. А. Систематика почв и почвообразующих пород Москвы и возможность их включения в общую классификацию // Почвоведение. – 2011. – № 5. – С. 611-623.
- Решетников М. В. Концентрация подвижных форм тяжелых металлов и магнитные свойства почв г. Вольск Саратовской области // Юг России: экология, развитие. – 2020. – № 1 (54). – С. 137-144.
- Hu, X. F. Magnetic responses to heavy metal pollution of the industrial soils in Shanghai: Implying the influences of anthropogenic magnetic dustfall on urban environment // Journal of Applied Geophysics. – 2022. – Т. 197. – С. 104544.
- Iassonov, P.G., Nourgaliev, D.K., Burov, B.V., Heller, F. A modernized coercivity spectrometer // Geologica Carpathica. – 1998. – V. 49. – № 3. – P. 224-226.

7. Karimi, A. Impacts of geology and land use on magnetic susceptibility and selected heavy metals in surface soils of Mashhad plain, northeastern Iran // Journal of Applied Geophysics. – 2017. – V. 138. – P. 127-134.
8. Vodyanitskii, Y. N., Shoba, S. A. Magnetic susceptibility as an indicator of heavy metal contamination of urban soils // Moscow University Soil Science Bulletin. – 2015. – V. 70. – P. 10-16.

ФОРМЫ ПЕРЕНОСА МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В РОДНИКОВЫХ ВОДАХ (НА ПРИМЕРЕ РОДНИКОВ ЩЕЛКОВСКОГО ГОРОДСКОГО ОКРУГА МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ)

Гусарова Д. С., Филатова О.Р.

Научный руководитель старший научный сотрудник Д. А. Яблонская
Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, г. Москва, Россия

В работе исследуются воды родников на территории Щелковского городского округа Московской области, расположенного на Восточно-Европейской равнине. Основу геологического строения составляет древний кристаллический фундамент, перекрытый осадочными породами (пески, глины, известняки) палеозоя и мезозоя. В четвертичный период территория подвергалась влиянию ледников, оставивших моренные отложения, которые формируют холмы и гряды. Дополняют рельеф речные долины (р. Клязьма, р. Воря) с пологими склонами и поймами, а также заболоченные участки. Гидрогеология Щелковского района связана с водоносными комплексами в осадочных породах: песчаные и известняковые горизонты каменноугольного и юрского периодов и надюрский водоносный комплекс, состоящий из водоносных горизонтов в четвертичных (аллювиальных, флювиогляциальных), меловых и верхнеюрских отложениях [4]. Воды комплекса широко используются местным населением для питьевых и хозяйственных целей путем эксплуатации многочисленных родников, приуроченных к долинам рек (рис). Площадь питания родников расположена в зоне влияния селитебных территорий городов и сельских поселений, подвергаясь интенсивной антропогенной нагрузке. Это обуславливает трансформацию гидрохимического состава родниковых вод и может оказывать влияние на механизмы миграции микроэлементов, изменяя их формы нахождения в водной среде и биодоступность.

Исследование родниковых вод проводилось в сентябре 2023 года, всего было отобрано 12 проб. В процессе работы фиксировались географические координаты, а также измерялись ключевые показатели источников: дебит, температура воды, величины pH и электропроводности (портативный анализатор BLE-C600). Для анализа микроэлементного состава пробы воды фильтровали через мембранный фильтр с диаметром пор 0,45 мкм, после чего консервировали добавлением азотной кислоты. Общую жесткость, содержание ионов HCO_3^- и Cl^- определяли методом объемного титрования, ионов NH_4^+ и NO_3^- – методом потенциометрии, SO_4^{2-} – с помощью рентгенофлуоресцентного анализа [3]. Величину ХПК (химического потребления кислорода) определяли фотометрическим методом [2]. Концентрации катионов Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ и микроэлементов измеряли методом ИСП-МС с использованием оборудования для высокочувствительного элементного анализа состава природных объектов SUPES 7000 (Focused Photonics Inc), приобретенном в рамках Программы развития МГУ. Термодинамический расчет растворенных форм микроэлементов проведен с помощью web-приложения Visual MINTEQ Light. Тип и состав растворенного органического вещества (РОВ) в воде определяли с помощью регистрации: 1) спектров поглощения (относительно дистиллированной воды, спектрофотометр Solar PB2201) в диапазоне длин волн 200–800 нм с шагом сканирования 1 нм; 2) спектров испускания флуоресценции (спектрофлуориметр Solar CM2203) при длинах волн возбуждения флуоресценции λ_{ex} 270 нм, 310 нм, 355 нм с шагом 1 нм. Перед анализом пробы дополнительно фильтровали через шприц-насадку с фильтром 0,22 мкм.

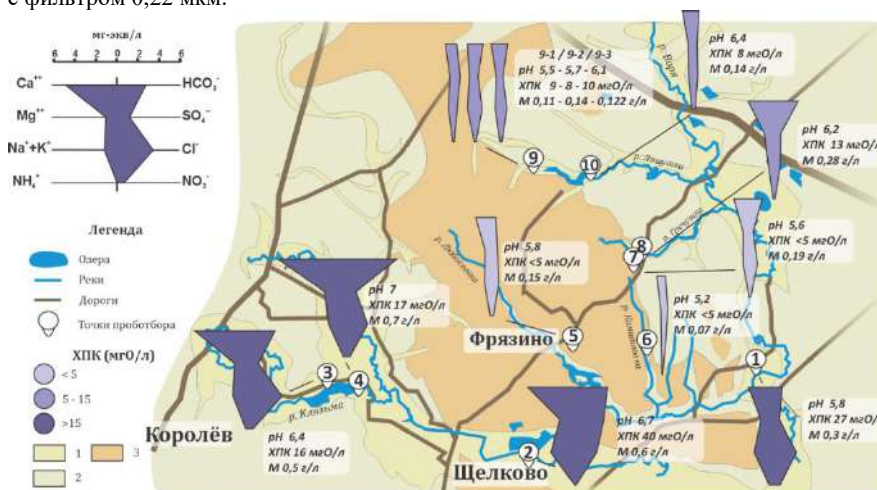


Рис. Состав и основные показатели родниковых вод Щелковского городского округа
(1 – Валдайский горизонт (аллювиальные отложения надпойменной террасы, аллПв, пески, суглинки);
2 – Московский горизонт (водно-ледниковые отложения, флгПмс, пески, валуны; 3 – Московский горизонт
(ледниковые отложения (морена), глПмс, суглинки с гравием)

Температура родниковых вод находится в диапазоне от 12 до 15 °С, электропроводность воды варьирует от 60 до 800 мкСм/см. Наиболее высокие значения этого параметра наблюдались в родниках № 1-4, расположенных вблизи крупных населенных пунктов. Уровень значений рН от 5,2 до 7, что соответствует нейтральной или слабокислой среде. Все исследованные воды относятся к категории пресных, с минерализацией от 65 до 680 мг/л. Наименьшая минерализация характерна для родников № 6, 9-1, 9-3 и 10, которые также отличаются мягкостью воды. Величина ХПК существенно различается между пробами: для семи из 12 родников этот показатель не превышал 12 мгО/л, тогда как максимальное значение (40 мгО/л) было зафиксировано в роднике № 2. По величине ХПК родники были разделены на три группы: <5 мгО/л, 5-15 мгО/л, >15 мгО/л.

Анализ катионного состава показал, что в родниковой воде преобладают ионы кальция, в родниках № 1 и 9-1 значимую долю составляют ионы магния и натрия. Доминирование какого-либо аниона выражено слабо, что позволяет отнести воды к смешанному типу по анионам. Отмечаются воды родников № 4, 7 и 8, где преобладает гидрокарбонат-ион, а также родников № 1 и 3 с повышенным содержанием хлорид-иона. Территориальное распределение полученных данных визуализировано с помощью диаграмм Стиффа, позволяющих наглядно представить особенности химического состава вод исследуемых родников.

Для микрокомпонентного состава родниковых вод характерна значительная вариативность (мкг/л): содержания Ti (0,4-3,1), V (0,4-1,6), Cr (1,1-5,9) различались до 5 раз; Cu (0,3-4,9), Co (0,1-1,5) Ni (3-26,4), As (0,1-2,4), Se (0,1-3,4), Rb (0,1-4,4), Sr (57,1-460,3) – до 10 раз; Mn (2,7-450,5), Mo (0,03-0,9) Ag (0,01-0,1), Cd (0,01-0,1), Ba (25,4-153,8), Pb (0,1-3,1) – до 50 раз; Zn (3-131,4), Al (1,5-135,7), U (0,001-0,5) – до 100-500 раз. Термодинамическое моделирование проведено для следующих элементов: Sr, Ba и Mn (природные вариации), Co, Ni, Cu, Zn, Cd и Pb (техногенное влияние). Для Ba доминирует свободная форма (до 97 %), с небольшим содержанием сульфатов (до 3 %). Zn также переносится преимущественно в свободной форме (88-96 %), с долей гидрокарбонатов и сульфатов (4-6 %). Co, Mn и Sr имеют схожее распределение форм переноса: свободные формы составляют 80-98 %, органические комплексы – до 12 %, гидрокарбонаты – до 4,5 %, сульфаты – до 4 %. В группе с ХПК > 15 до 99 % Pb, Cd и Cu находятся в органической форме, свободные формы Ni снижаются до 67 %, а органические комплексы возрастают до 19 %. При снижении величины ХПК доля свободных форм Ni увеличивается до 96 %, появляются гидрокарбонатные и сульфатные формы переноса Pb, Cd и Cu (до 5 % каждая). Учитывая, что величина ХПК отражает количество кислорода, необходимое для окисления органических соединений, присутствующих в водной среде, можно говорить о зависимости форм миграции ряда элементов от содержания РОВ в воде.

Наибольшие значения оптической плотности в ультрафиолетовом диапазоне были отмечены для пробы из родника № 1, самые низкие для вод родников № 5 и 7. Наблюдается корреляция высоты пика поглощения с полученными значениями величины ХПК для родниковых вод. Спектры поглощения РОВ для всех образцов воды имеют схожую форму, что указывает на однородность состава органического вещества в исследованных родниках. Спектры флуоресценции также демонстрируют сходство, что объясняется общим генезисом флуорофоров, представленных гуминовыми соединениями разного состава. Они являются типичными компонентами природного органического вещества, образующегося в результате разложения растительных и животных остатков. Наличие «синего сдвига» максимума флуоресценции дополнительно подтверждает природное происхождение РОВ [1], т. е. этот эффект характерен для гуминовых веществ, образующихся в естественных условиях. Гетерогенность состава гуминовых соединений, выявленная по разным значениям «синего сдвига» для различных родников, указывает на то, что даже в пределах природного происхождения РОВ может варьироваться в зависимости от конкретных условий окружающей среды. Присутствие в воде различных типов гуминовых веществ подтверждается ростом величины квантового выхода с ростом длины волны возбуждения в УФ диапазоне.

Проведенное исследование родниковых вод Щелковского городского округа Московской области позволило установить взаимосвязь между макросоставом воды, содержанием РОВ в водах и формами переноса микроэлементов. Термодинамическое моделирование показало, что в водах с высоким химическим потреблением кислорода, отражающим повышенное содержание РОВ, преобладают органические комплексы микроэлементов. В то же время, при снижении ХПК возрастает доля свободных и гидрокарбонатных форм. Таким образом, отмечается зависимость форм миграции ряда микроэлементов (Cu, Cd, Pb, Ni) от содержания РОВ. Спектры поглощения и флуоресценции РОВ подтвердили преимущественно природное происхождение органического вещества, представленного гуминовыми соединениями, образующимися в результате разложения органического вещества почв.

Работа выполнена в рамках фундаментальной НИР "Развитие комплексных методов физической, прогнозно-поисковой и экологической геохимии", номер ЦИТИС 121061600048-7.

Литература

1. Горшкова О. М. и др. Флуоресценция растворенного органического вещества природной воды // Вода: Химия и экология. – 2009. – № 11. – С. 31-37.
2. ГОСТ 31859-2012. Вода. Метод определения химического потребления кислорода. Дата введения 2014-01-01. Введён 01.01.2014 г. – М.: Стандартинформ, 2019. – 16 с.
3. Лубкова Т. Н. и др. Рентгенофлуоресцентный анализ сульфат-иона в водных растворах по методу высушенной капли с использованием портативного спектрометра // Вестник Московского университета. Серия 4. Геология. – 2022. – № 2. – С. 59-67.
4. Позднякова И. А. и др. Оценка условий взаимосвязи водоносных горизонтов на основе крупномасштабного картирования геологического строения и гидрогеологических условий г. Москвы // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геоэкология. – 2012. – № 6. – С. 527-539.

**МАГНИТНАЯ ВОСПРИИМЧИВОСТЬ УЛИЧНОЙ (ДОРОЖНОЙ) ПЫЛИ КАК ИНДИКАТОР
НАКОПЛЕНИЯ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ НА ТЕРРИТОРИИ
МИКРОРАЙОНА ТЫРГАН Г.ПРОКОПЬЕВСКА**

Евсеев М.В., Земляков А.И

Научный руководитель профессор Е.Г. Язиков

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Интерес к изучению уличной (дорожной) пыли г. Прокопьевск был вызван ежегодным превышением ПДК среднегодовых концентраций взвешенных веществ за период с 2019 по 2023 год в Прокопьевском городском округе, а также фиксацией на территории Рудничного района г. Прокопьевск максимальной из единоразовых концентраций взвешенных веществ в 2023 году – 8,6 ПДК [1]. Территорией исследования был выбран микрорайон Тырган из-за того, что он является самым густонаселённым участком города.

Целью исследования являлась оценка загрязнения тяжёлыми металлами группы железа микрорайона Тырган г. Прокопьевска.

Основные задачи исследования:

- провести площадной отбор проб уличной пыли на территории микрорайона;
- провести пробоподготовку и выполнить измерения магнитной восприимчивости проб уличной (дорожной) пыли с использованием каппаметра КТ-5.

В данной работе приводится оценка загрязнения территории микрорайона Тырган г. Прокопьевска тяжёлыми металлами группы железа.

Пробы отбирались по территории исследования примерно по равномерной сети. В составлении карты фактического материала с точками отбора проб (рис.) участвовал А.А. Агаев, студент ПГТ им. Романова, а в непосредственном отборе помогали детско-юношеские организации (НОУ «Акварин» и БПС «Русичи») в августе 2024 года. Всего было собрано 59 проб уличной (дорожной) пыли.

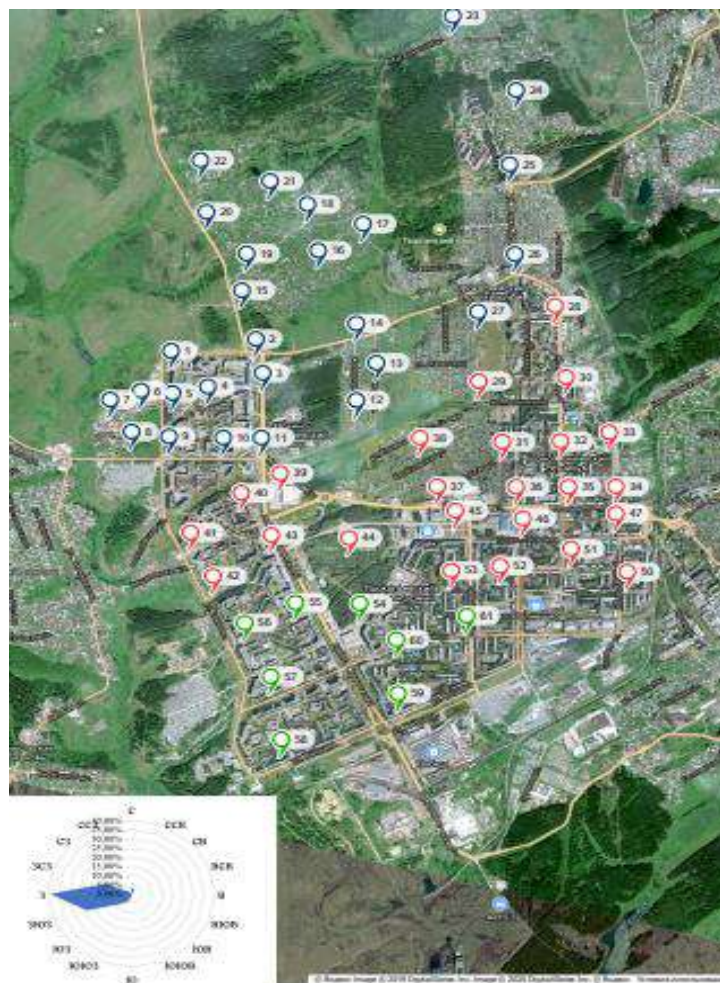


Рис. Карта отбора проб уличной (дорожной) пыли по микрорайону Тырган г. Прокопьевск в 2024 г. [4]

Анализ проб проводился согласно методике, защищённой патентом РФ № 2133487 [3]. В стандартную немагнитную пластиковую кювету засыпался одинаковый объём смёта. Далее для получения более корректных

результатов каждая проба измерялась по три раза с помощью каппаметра КТ-5, причем среднее от трёх измерений бралось за значение магнитной восприимчивости. Каппаметрия для данного исследования была выбрана как более экспрессный метод выявления загрязнений. Данный метод позволяет определить магнитную восприимчивость проб уличной (дорожной) пыли, которая зависит от содержания в пробах парамагнитных и ферромагнитных ионов (Fe, Mn, Co, Cr, Ni), а также от наличия магнитных фаз.

В результате каппаметрии было выявлено 13 точек со значениями магнитной восприимчивости выше $500 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ (табл.). Пробы в точках 7, 12, 21, 24, 29 и 38 отобраны около дороги в частных секторах; 9, 10 и 30 – расположены около дороги; 11, 59 и 60 отбирались на парковках вблизи дороги. Примерно в 550 м от 59 точки расположен вагоноремонтный завод «Новотранс». В предыдущей нашей работе в пробе, отобранной в точке 61 (в настоящее время точка 60), были обнаружены металлические частицы, но не были выявлены ферросферулы [2]. Накопление тяжёлых металлов в выше приведённых точках может быть обусловлено наличием вблизи мест пробоотбора автомобильных дорог и парковок.

Таблица

Объемная магнитная восприимчивость ($n \cdot 10^{-5}$ ед. СИ) проб уличной (дорожной пыли) микрорайона Тырган г. Прокопьевск

№ пробы	среднее
1	529
7	1218,1
9	2264,6
10	703,3
11	618,1
12	657,7
21	653,7
24	803
29	504,7
30	544,3
38	520
59	749,3
60	734,3

После обнаружения точечных высоких значений магнитной восприимчивости выявлялись участки, где больше всего накапливались тяжёлые металлы. Для этого рассчитывалось среднее значение от ближайших к объекту или улице точек. Были получены следующие результаты (далее в скобках будут указываться номера точек, использованных для расчёта): район первого корпуса школы № 45 (4, 5, 9, 10) – $983,9 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ; 10-й микрорайон (1-5, 9-11) – $670,6 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ. Помимо этого, для территории пробоотбора была рассчитана общая магнитная восприимчивость, значение которой составило $407,9 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ.

В результате исследования были выявлены 13 точек с наибольшими значениями магнитной восприимчивости, определены участки с максимальным накоплением тяжёлых металлов. Для выявления факторов накопления требуется детализировать отбор проб и применить другие методы. Также было рассчитано среднее значение магнитной восприимчивости уличной (дорожной) пыли микрорайона Тырган г. Прокопьевска, которое составило $407,9 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ. Данные значений магнитной восприимчивости, полученные в результате исследования, будут храниться в материалах отделения геологии Инженерной школы природных ресурсов Томского политехнического университета в свободном доступе.

Литература

1. Доклад о состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области – Кузбасса в 2023 году; Администрация правительства Кузбасса, Министерство природных ресурсов и экологии Кузбасса. – Кемерово: 2024.
2. Евсеев М.В., Земляков А.И. Оценка загрязнения тяжёлыми металлами территории микрорайона Тырган Рудничного района г. Прокопьевска // VIII Международный молодежный экологический форум. – 2024. – с.304.
3. Язиков Е.Г., Миков О.А. Способ определения техногенной загрязнённости почвенного покрова тяжёлыми металлами группы железа (железо, кобальт, никель). – 1999.
4. Язиков Е. и др. Магнитная восприимчивость дорожной пыли как индикатор загрязнения территории в зоне воздействия предприятий угледобычи // Оптика атмосферы и океана. – 2021. – Т. 34. – № 6. – С. 434-439.
5. Яндекс карты: сайт. – URL: <https://yandex.ru/maps/11291/prokopevsk/?l=sat%2Cskl&ll=86.630678%2C53.891457&mode=usermaps&source=constructorLink&um=constructor%3A59b5cfe2b8dac76efdbde27fc6e631b0cd65fd7348a92eb23c5e0c62ae3f5b4c&z=14> (дата обращения 05.03.2025).

ОЦЕНКА ТОКСИЧНОСТИ МАТЕРИАЛА ХВОСТОХРАНИЛИЩА ДЖИДИНСКОГО ВОЛЬФРАМО-МОЛИБДЕНОВОГО КОМБИНАТА (БУРЯТИЯ) МЕТОДАМИ БИОТЕСТИРОВАНИЯ

Зезюн К.А.

Научный руководитель доцент С.В. Азарова

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Хвостохранилища горнодобывающих предприятий могут представлять собой источник значительного загрязнения окружающей среды. Их пыление вносит большой вклад в загрязнение как атмосферы, так и почв прилегающих территорий.

До 26 февраля 1998 года в городе Закаменск (Бурятия) осуществлял работу Джидинский вольфрамо-молибденовый комбинат. После закрытия на территории бывшего предприятия остались отходы обогащения общей массой около 50 млн. тонн [1], содержащие помимо пустой породы различные тяжелые металлы, такие как свинец, цинк, мышьяк, фтор и другие, а также реагенты, применявшиеся для обогащения (серная кислота, керосин) [3].

Методы биотестирования применяются для оценки реакции живых организмов на загрязнение, при этом используются разные тест-объекты. Фитотестирование основано на определении токсичности исследуемого объекта по реакции растений, обладающих высокой чувствительностью. Также для биотестирования в качестве тест-объектов используют плодовых мушек дрозофил, особенностями которых является короткий жизненный цикл, высокая плодовитость и чувствительность к различным токсикантам. Кроме того, метод биотестирования отличается экономичностью и оперативностью получения результатов [4].

Для оценки токсичности материалов хвостохранилищ в качестве тест-объектов использовались плодовая мушка *Drosophila melanogaster* и семена овса *Avéna sativa* сорта Тогурчанин. Для первого эксперимента использовали дрозофил линий *singed* и *yellow*. Три виргинные самки линии *yellow* и три самца линии *singed* помещали в пробирки со специальной питательной средой, получая в результате гибридное потомство. Питательная среда представляла собой смесь дрожжей, манной крупы, агар-агара, воды, сахара и пропионовой кислоты с концентрацией измельченной в порошок пробы 0,5 %. Тест-параметрами служили сроки развития, морфозы и соотношение полов.

Для подтверждения токсического проводился расчет показателя χ^2 (Хи-квадрат) [2]. Исходные данные для расчета представлены в таблице.

Таблица

Исходные данные для расчета

Номер пробы	Контроль	Опыт	Всего
С морфозами	9	16	25
Без морфоз	278	244	522
Всего	287	260	547

Во втором эксперименте в качестве тест-объекта взяты неповрежденные семена овса *Avéna sativa* сорта Тогурчанин. Для оценки токсичности использовалась методика МР 2.1.7.2297-07 Обоснование класса опасности отходов производства и потребления по фитотоксичности. Для оценки влияния водной вытяжки отхода на прорастание семян и рост проростков использовали фитотестирование. В качестве параметров оценивали длину корней проростков и процент всхожести семян. Тест-объект помещали в чашки Петри с фильтровальной бумагой, пропитанной водным экстрактом отхода в различных разведениях.

Полученные результаты.

Тест-объект - *Drosophila melanogaster*. Сроки развития в контрольной среде и среде с пробой были одинаковыми. Значение Хи-квадрат для параметра «морфозы» составило 2,85, для «соотношение полов» – 0,53. Для определения границ случайных отклонений используются значения χ^2 . Допустимой границей вероятности считается 0,05. В данном эксперименте с двумя линиями мух число степеней свободы равно 1, следовательно, табличное значение показателя составляет 3,84. Из этого следует, что фактические значения ниже теоретического.

Тест-объект - овес *Avéna sativa*. Фитотоксическое действие является доказанным, если фитотоксический эффект (он же эффект торможения) составляет 20 % и более. Угнетение роста зафиксировано в чистом фильтрате, разведениях 1:1 (34,67 %), 1:2 (36,58 %), 1:5 (24,77 %) и 1:10 (29,93 %). Однако при проверке семян на всхожесть угнетения не было обнаружено.

Вывод. С помощью проведенных экспериментов было выявлено, что материал отходов хвостохранилища Джидинского вольфрамо-молибденового комбината (Бурятия) оказывает фитотоксический эффект в зависимости от концентрации его водного экстракта. С другой стороны, угнетения не было обнаружено при проверке семян на всхожесть. Кроме того, установлено, что материал отходов не оказал токсического воздействия на плодовых мушек *Drosophila melanogaster*. Для точного ответа на вопрос, является ли материал отходов хвостохранилища Джидинского вольфрамо-молибденового комбината токсичным, требуется проведение дополнительных исследований.

Литература

- Бурмистров А.А., Самсонов А.А., Тельнов, А.Е. Эколого-экономические аспекты разработки природных и связанных с ними техногенных рудных месторождений на примере джидинского вольфрам-молибденового комбината, Республика Бурятия // Вестник Московского университета. Серия 4. Геология. – 2024. – № 2. – С. 54-64.
- Зезюн К.А. Оценка токсичности материала отходов хвостохранилищ алтайского горно-обогатительного комбината с применением в качестве тест-объекта *Drosophila melanogaster* // Проблемы геологии и освоения недр 2024. – Т. 1. – 2024.

3. Ходанович П.Ю., Яценко Р.И., Смирнова О.К. Техногенные пески Джидинского ГОКа как месторождения комплексных руд // Закамна в XXI веке. Матер. науч.-практ. конф. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ. – 2002. – С. 61-67.
4. Terekhova V. A. Biotesting of soil ecotoxicity in case of chemical contamination: modern approaches to integration for environmental assessment (a review) // Eurasian Soil Science. – 2022. – Т. 55. – № 5. – С. 601-612.

ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ЖИТЕЛЕЙ Г. ВЛАДИВОСТОК

Иванова Д.А.

Научный руководитель профессор Барановская Н.В.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Зольный остаток организма человека (ЗООЧ), представляющий собой неорганическую часть биологического материала, является важным объектом для индикации геоэкологического состояния окружающей среды, позволяющий оценить совместное влияние множества факторов напрямую. В современных условиях, когда антропогенная нагрузка на окружающую среду урбанизированных территорий возрастает, изучение элементного состава зольного остатка жителей городов приобретает особое значение. Владивосток, будучи крупным портовым и промышленным центром, подвержен различным негативным воздействиям на окружающую среду, что может оказывать влияние на здоровье его жителей. Анализ элементного состава ЗООЧ может выявить накопление токсичных и биологически значимых элементов в организме [1].

Целью данной работы является выявление особенностей элементного состава зольного остатка жителей г. Владивосток относительно ранее проведенных исследований ЗООЧ жителей других городов России.

Зольный остаток организма человека – материал, оставшийся после процесса сжигания тела умершего человека в крематорной печи. Пробы ЗООЧ были отобраны из невостребованного материала (материал, не подверженный захоронению спустя год после процедуры) в 2020 году в крематории г. Владивосток по официальному разрешению администрации учреждения из невостребованного материала профессором отделения геологии ТПУ Барановской Н.В.

Всего было изучено 9 проб зольного остатка организма человека. Исследуемый материал представляет собой зольный остаток организма человека различных половых групп и возрастов. При отборе проб был соблюден принцип конфиденциальности – личные данные, данные о причинах смерти, образе жизни, заболеваемости исследуемых людей известны не были. Процедура кремации человеческого тела осуществляется в соответствии с правилами ГОСТ Р 533999-2010, что предполагает идентичность условий кремации во всех исследуемых городах [2]. Анализ биоматериалов проводился на базе учебно-научного центра «Исследовательский ядерный реактор ИРТ-Т» в ядерно-геохимической лаборатории НИ ТПУ согласно инструкции НСАМ ВИМС № 410-ЯФ. Аналитик – А.Ф. Судыко.

Для выявления геохимических особенностей ЗООЧ г. Владивосток и построения лепестковой диаграммы (рис.) был рассчитан коэффициент концентрации (Кк) как отношение содержания элемента в пробе ЗООЧ г. Владивосток к среднему арифметическому значению химических элементов из суммированной выборки проб ЗООЧ ранее исследованных городов: Ростов-на-Дону, Новосибирск, Санкт-Петербург, Новокузнецк, Норильск.

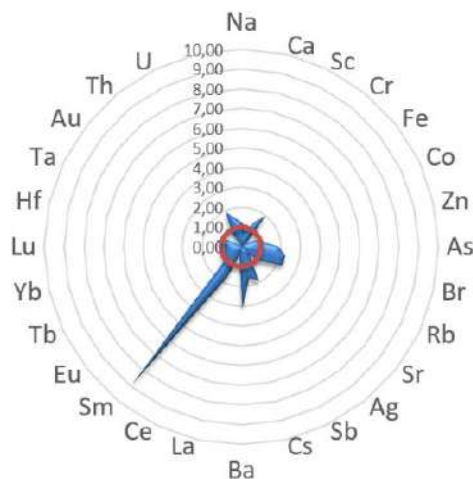


Рис. Диаграмма коэффициентов концентраций элементов относительно среднего по выборке в ЗООЧ ранее исследованных городов

Полученные коэффициенты концентрации показывают высокое содержание в ЗООЧ эссенциальных для организма человека элементов (Na, Zn, Sr, Br, Ba и т.д.). Однако, отмечается и редкоземельно-радиоактивная специфика, заключающаяся в повышенных концентрациях Ce, Sm, Eu и U.

Приморский край является уникальной территорией, для которой характерно значительное концентрирование элементов группы редких земель в горных породах, водах, почвах и растениях [3]. Это обстоятельство может оказывать значительное влияние на концентрирование редкоземельных элементов в ЗООЧ жителей Владивостока. Так, существенное накопление самария в организме человека свидетельствует

о его значительном поступлении в организм из внешней среды и, возможно, выполнении определенной биологической роли, требующей дальнейших исследований.

Автор выражает благодарность научному руководителю – Барановской Н.В. – за предоставленные материалы для исследования. Работа выполнена при поддержке грантов РФФ № 20-64-47021 (руководитель – Н.В. Барановская) и № 20-67-47005 (руководитель – А.М. Паничев)

Литература

1. Барановская Н.В. и др. Очерки геохимии человека / Н.В. Барановская, Л.П. Рихванов, Т.Н. Игнатова – Томск: Дельтаплан, 2015. – 377 с.
2. Дериглазова М.А., Рихванов Л.П. Минералогия зольного остатка организма человека как отражение технологических процессов при переработке медноникелевых руд Норильской группы месторождений // Материалы Российского совещания с международным участием Роль технологической минералогии в рациональном недропользовании, г. Москва. – 2018, – С. 44-48.
3. Паничев А.М. и др. Редкоземельные элементы как причинный фактор геофагии среди растительноядных животных // Доклады российской академии наук. Науки о Земле. – 2021. – Т. 499. – № 1. – С. 82-86.

К ВОПРОСУ ОБ ОЦЕНКЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ГОРОДА ТОМСКА

Капинос Л.Ю.

Научный руководитель доцент С.В. Азарова

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

В условиях интенсивного развития промышленности и урбанизации экологическое состояние почвенного покрова становится одним из ключевых факторов, определяющих качество окружающей среды и здоровье населения. Почвы производственных территорий городов подвергаются значительному антропогенному воздействию, что приводит к их загрязнению. Оценка экологического состояния почв промышленных зон является важным инструментом для разработки мер по снижению негативного воздействия и восстановлению нарушенных территорий.

Для оценки экологического состояния почв методами фитотестирования, использовались пробы, которые были отобраны по стандартной методике сотрудниками отделения геологии Томского политехнического университета в 2023 г. в городе Томск. Пробы отбирались около промышленных предприятий, таких как Томский инструментальный завод (ТИЗ), Томский электромеханический завод (ТЭМЗ), ГРЭС-2, Томский кирпичный завод (ТКЗ), Томский электроламповый завод (ТЭЛЗ), ОАО «МАНТОМЬ» и Томский радиотехнический завод (ТРТЗ) (рис. 1), а также один фоновый участок в поселке Победа [4].

Фитотестирование – это метод биологической оценки состояния окружающей среды, основанный на использовании растений в качестве индикаторов ее качества [5]. Фитотестирование используется для оценки токсичности почвы, воды и других материалов, а также для проверки воздействия загрязняющих веществ на биологическую активность. Данный метод помогает в экологическом мониторинге, проведении исследований по восстановлению загрязненных территорий и контролю за качеством окружающей среды. Он часто применяется для определения влияния промышленных выбросов и сельскохозяйственной практики на экосистемы.

Применяемый метод фитотестирования включает в себя расчет витальных (всхожести) и морфометрических (индекс толерантности (ИТ), индекс массы (ИМ)) параметров тестируемых культур согласно ГОСТ Р ИСО 18763-2019 [6].

Стандарт применяется для оценки токсичности почвы, воды или других субстратов, используемых для выращивания растений. В основе метода лежит использование растений в качестве биоиндикаторов. Оцениваются такие параметры, как всхожесть семян, длина корней и побегов, биомасса растений. Стандарт описывает процедуру проведения тестов, включая подготовку образцов почвы, выбор растений, условия проведения эксперимента и анализ результатов.



Рис. 1. Карта отбора проб почв



Рис. 2. Значение показателя индекса массы



Рис. 3. Значение показателя индекса толерантности

Проанализировав графики (рис. 2, 3), можно сделать вывод о том, что по индексу массы и индексу толерантности, горох является более чувствительным тест-объектом. Стоит уточнить, что значение $>100\%$ означают, что масса растения в пробе больше фонового на определенный %. Наибольшее значение индекса массы отмечается в районе ТЭМЗ и ГРЭС-2. По показателю индекса толерантности наибольшее значение также наблюдается в районе ГРЭС-2. Скорее всего, в почвах данной территории присутствует зола.

Общее время прорастания семени называется всхожестью семян (рис. 4, 5) [1]. Всхожесть семян – это процент семян, которые прорастают в определенных условиях за заданный период времени. Она отражает жизнеспособность семян и их способность к прорастанию в конкретной среде. Всхожесть семян является чувствительным индикатором наличия токсичных веществ в почве или воде. Если всхожесть значительно ниже, чем на контрольном (фоновом) участке, это может указывать на присутствие загрязняющих веществ, таких как тяжелые металлы, пестициды, нефтепродукты или промышленные отходы. Также, сравнение всхожести семян на исследуемом участке с фоновым значением позволяет оценить уровень загрязнения. Однако с течением времени всхожесть семян различных культур снижается [3].



Рис. 4. Динамика прорастания семян пшеницы в почвах



Рис. 5. Динамика прорастания семян гороха в почвах

Проанализировав графики, можно сказать, что семена гороха менее восприимчивы к различным почвам. В свою очередь, семена пшеницы более чувствительны к почвам и содержащимся в них элементам. Наименьшая всхожесть отмечается у семян пшеницы в пробе почв ТРТЗ. Наименьшая всхожесть гороха отмечается в пробе почв ТИЗ и ТЭМЗ. Такие предприятия часто являются источниками загрязнения почвы тяжелыми металлами (свинец, кадмий, хром, цинк). Можно предположить, что почвы этого участка загрязнены хромом. В работе Жорняк Л.В. установлено, что концентрация хрома в этом районе (109 мг/кг) превышает фоновую концентрацию (43,2 мг/кг) в несколько раз [2].

Литература

1. Азизов А., Мухамметмырадов М., Моммакова О. Определение всхожести и всхожести семян пшеницы и ячменя // IN SITU. – 2023. – № 12. – С. 24-26.
2. Воронина Л. П., Терехова В. А., Морачевская Е. В. Фитотестирование в экологическом контроле. – 2020.
3. ГОСТ Р ИСО 18763-2019 Качество почвы. Определение токсического воздействия загрязняющих веществ на всхожесть и рост на ранних стадиях высших растений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/120016692>

4. Жорняк Л.В. Эколого-геохимическая оценка территории г. Томска по данным изучения почв // Автореферат на диссертации на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук: 25.00.36 – Геоэкология, 2009. – 22 с.
5. Пащенко В. М. и др. Методы повышения всхожести семян // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2013. – № 2 (18). – С. 69-73.
6. Храмов А.Е. Оценка состояния почв методом фитотестирования (на примере города Томска) // Проблемы геологии и освоения недр // Сборник трудов конференции. – Томск. – 2024. – № 1. – С. 282-283.

СУММАРНОЕ НАКОПЛЕНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В КОЛЬЦАХ ДЕРЕВЬЕВ ТЕРРИТОРИИ ОЗЕРА ТЕЛЕЦКОГО (РЕСПУБЛИКА АЛТАЙ)

Крачнакова М.Г.

Научный руководитель профессор Н.В. Барановская

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Изучение химического состава колец деревьев представляет собой важный инструмент для понимания экологических процессов и изменений окружающей среды. Бассейн оз. Телецкое, обладающий уникальными экосистемами и богатым биоразнообразием, предоставляет широкие возможности для исследования данных процессов и изменений [5]. Более того, на территории Республики Алтай ракетно-космическая отрасль выделяется как особый вид воздействия на окружающую среду [4]. Также регион был подвержен трансрегиональному загрязнению с территории Семипалатинского ядерного полигона, что регистрировалось ранее проведенными исследованиями на примере различных компонентов природной среды [3, 9].

В последние десятилетия наблюдается усиление антропогенной нагрузки на экосистемы в целом, что приводит к изменениям динамики накопления химических элементов в стратифицированных природных образованиях [8]. Хорошим индикатором выступают годовые кольца дерева, по уровню накопления химических элементов, в которых можно проследить особенности геохимической обстановки территории. Поэтому данные, полученные из колец деревьев, могут дать представление о долгосрочных изменениях в химическом составе почвы и атмосферы, а также о влиянии климатических изменений и хозяйственной деятельности человека [10, 11]. Также немаловажным вопросом является изучение динамики накопления химических элементов по временным периодам. Исходя из этого, одним из приоритетных направлений исследований становится поиск новых методов и приёмов, а главное объектов индикаторов поступления и накопления химических элементов в окружающей среде [7].

Цель данного исследования: анализ суммарного накопления химических элементов в кольцах сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L., 1753) в бассейне оз. Телецкое (Республика Алтай). Результаты работы могут стать основой для более глубокого понимания воздействия факторов окружающей среды на экосистемы территории расположения озера и использоваться для мониторинга окружающей среды.

Хвойные деревья в сравнении с лиственными имеют лучшую способность к концентрированию поступающих из атмосферы загрязнений и медленную скорость очищения от частиц, выпадающих из атмосферы. Также годовые кольца хвойных деревьев представлены более чётко [1-3]. Объектом исследования были выбраны керны сосны обыкновенной. Пробы были отобраны в 2021 г. на территории Республики Алтай.

Работы проведены в рамках реализации грантов РНФ № 20-67-47005 и № 20-67-47021, реализуемых под руководством Барановской Н.В. (ТПУ) и Паничевым А.М. (ТИГ ДВО РАН) при активном содействии дирекции Алтайского государственного биосферного заповедника и коллектива Автономного учреждения Республики Алтай «Алтайский региональный институт экологии». Керны отбирались с двух близстоящих деревьев на правом берегу оз. Телецкое, вблизи села Беле.

Образцы были отобраны с использованием возрастного бурава Haglof согласно методике [6]. После отбора кернов образцы высушивались при комнатной температуре, далее выполнялась датировка колец. Для проведения анализа керны разделялись по периодам: 1953–1962, 1963–1979, 1980–2011, 2012–2021 гг. Исследование проводилось методом инструментального нейтронно-активационного анализа (ИНАА) на комплекс из 28 химических элементов (Na, Ca, Sc, Cr, Fe, Co, Zn, As, Br, Rb, Sr, Ag, Sb, Cs, Ba, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu, Hf, Ta, Au, Th, U) на базе реактора Национального исследовательского Томского политехнического университета.

Во всех исследуемых пробах доля макроэлементов (Na, Ca, Fe) составляет 99 % от общей суммы содержаний химических элементов. В результате сравнения динамики накопления микро- и макроэлементов в течении рассматриваемых временных периодов были выявлены некоторые закономерности. Для двух групп элементов (макро и микро- с ультрамикроэлементами) наблюдается общая тенденция увеличения содержания их суммы с 1953 года к современному периоду.

Однако после 1980–2011 гг. динамика накопления элементов изменяется. Так, содержание микроэлементов в современном периоде (2012–2021 гг.) является наибольшим, в то время как наибольшее накопление макроэлементов приходится на 1980–2011 гг. Это может быть связано с возрастающей востребованностью микроэлементов в процессах техногенеза и, как следствие, их высокая дисперсия с последующим более активным поступлением в состав растительности, а также с влиянием внутренних физиологических процессов в дереве.

Таким образом, проведенные нами дендрогеохимические исследования на территории Республики Алтай позволили установить динамику изменения химического состава колец сосны обыкновенной за существенный временной промежуток (1953–2021 гг.), выявить специфично накапливающиеся химические элементы и изменение их суммарного накопления.

Авторы выражают искреннюю благодарность директору, сотрудникам Алтайского государственного биосферного заповедника и коллективу Автономного учреждения Республики Алтай «Алтайский региональный институт экологии» за помощь в организации экспедиции по отбору проб.

Литература

1. Ваганов Е.А. Рост и структура годовых колец хвойных [Текст] / Е.А. Ваганов, А.В. Шашкин. – Новосибирск: Наука, 2000. – 232 с.
2. Гавриков В.Л. и др. Изменчивость элементного состава годовых колец хвойных пород // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2021. – № 6 (384). – С. 24-37.
3. Гераськин С.А., Фесенко С.В., Алексахин Р.М. Воздействие аварийного выброса Чернобыльской АЭС на биоту // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2006. – Т. 46. – № 2. – С. 178-188.
4. Годовой доклад о состоянии и об охране окружающей среды Республики Алтай в 2023 году. – Горно-Алтайск, 2024 – 152 с.
5. Кудерина Т.М. и др. Экологическое состояние Телецкого озера при современных изменениях окружающей среды // Полевые исследования в Алтайском биосферном заповеднике. – 2019. – № 1. – С. 86-91.
6. Матвеев С.М., Румянцев Д. Е. Дендрохронология. – 2018.
7. Рихванов Л.П., Архангельская Т.А., Замятина Ю. Л. Дендрорадиография как метод ретроспективной оценки радиоэкологической ситуации. – Томск: Дельтаплан. – 2015.
8. Рихванов Л.П. и др. Реконструкция радиационной обстановки на территории Томской области по стратифицированным природным образованиям // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2011. – Т. 319. – № 1.
9. Робертус Ю.В., Рихванов Л.П., Любимов Р.В. Дендрогеохимическая индикация трансграничных переносов экотоксикантов на территорию Алтая // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2010. – Т. 317. – № 1.
10. Canning C.M., Laroque C.P., Muir D. Critical analysis of the past, present, and future of dendrochemistry: a systematic literature review // Forests. – 2023. – Т. 14. – № 10. – С. 1997.
11. Кудо А. и др. Эффективность годовых колец для регистрации истории плутония в Нагасаки, Япония // Журнал радиоактивности окружающей среды. – 1993. – Т. 21. – № 1. – С. 55-63.

ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ДЕЛЬТЫ СЕВЕРНОЙ ДВИНЫ

Лапиков П.И., Быков В.М.

Научный руководитель заведующий лабораторией Е.Ю. Яковлев

**Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика
Н.П. Лаврова Уральского отделения Российской академии наук, г. Архангельск, Россия**

Естественные и техногенные радионуклиды распространены повсеместно в окружающей среде. Радионуклиды, образовавшиеся в ходе хозяйственной деятельности, попали в атмосферу после испытаний и использования ядерного вооружения, а также после аварий на радиационно-опасных объектах. Белое море является важным объектом для исследования накопления естественных и техногенных радионуклидов в Арктике ввиду закрытости и особенностей гидрологического режима [1].

Северная Двина является важным источником воды в Белом море с объемом водного стока на замыкающем створе Усть-Пинега 104 км³/год [4] и стоком взвешенных наносов 4,5 млн. т/год [5]. Вместе с водой происходит перенос взвесей с водосборного бассейна площадью 357 тыс. км² [3]. Значимая часть выносимого материала аккумулируется в дельте реки [6], представленной в виде равнобедренного треугольника с основанием 45 км и площадью 900 км² [2].

Дополнительными источниками потенциального радиоактивного загрязнения могут являться судостроительные предприятия в г. Северодвинск, что делает район дельты важным для изучения не только с целью исследования миграции и накопления вещества, но и с радиоэкологической позиции.

Для оценки содержания естественных и техногенных радионуклидов в донных отложениях дельты реки Северная Двина летом 2024 г. был проведен отбор 144 проб по всей дельте. Отбор проб производился с поверхностного горизонта дна с помощью дночерпателя Ван-Вина (рис.). В полевых условиях осуществляли первичное описание отобранных проб грунта, после чего их упаковывали в герметичную тару для дальнейших лабораторных исследований.

Радионуклиды ¹³⁷Cs, ⁶⁰Co, ²²⁶Ra, ²³²Th и ⁴⁰K определяли на низкофоновом полупроводниковом гамма-спектрометре ORTEC (США) на базе коаксиального детектора GEM10P4-70 из высокоочищенного германия (HPGe), с процессором импульсных сигналов SBS-75 и программным обеспечением Gamma Pro. Расчет удельной бета активности определяли с помощью альфа-бета-радиометра РКС-01 «Абелия» (НТЦ «Амплитуда», Россия).

В ходе проведения исследования были получены следующие значения. Средняя удельная бета активность во всех пробах для всех проб составила 390 Бк/кг. Активности естественных радионуклидов таких как: Ra-226, Th-232 и K-40 пробоотбора составили 9,8, 10 и 324 Бк/кг, соответственно. Средняя активность в поверхностном слое донных отложений Cs-137 составила 0,9 Бк/кг.

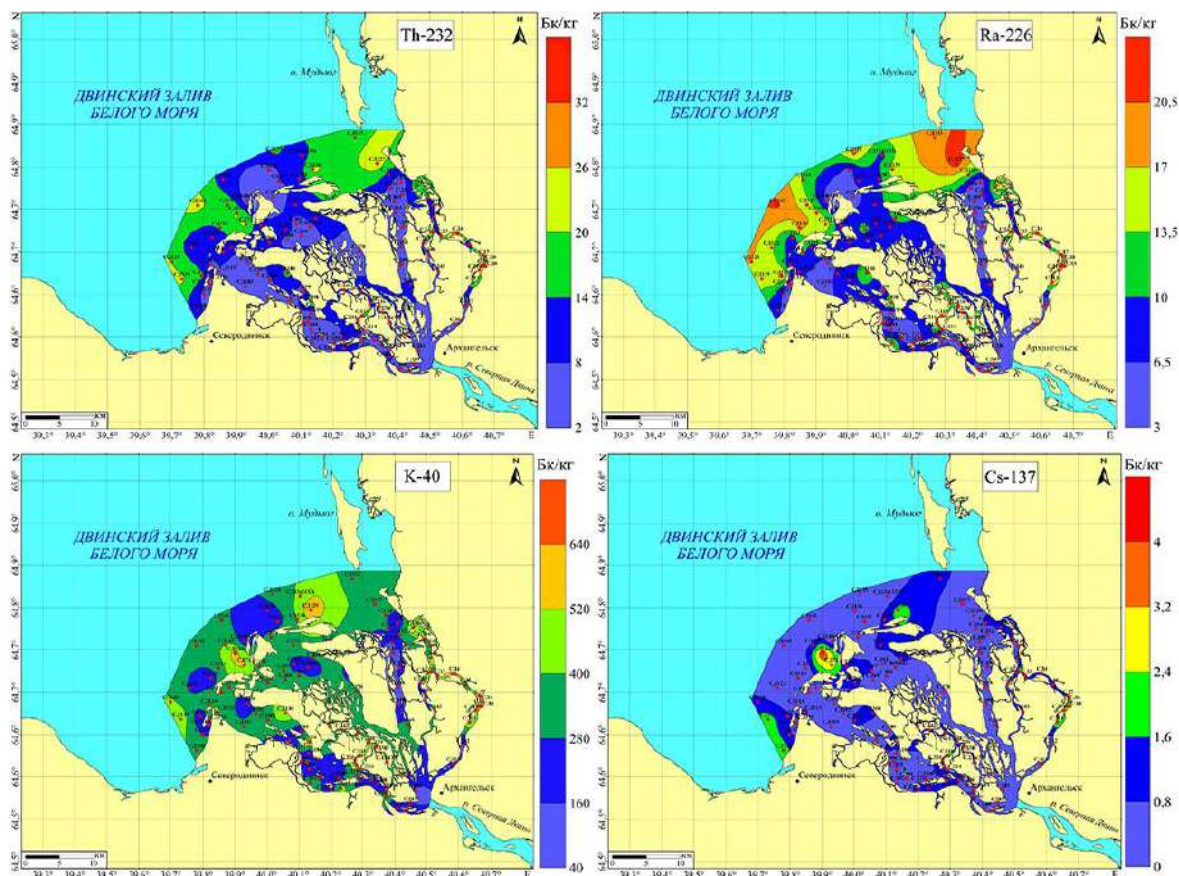


Рис. Пространственное распределение техногенных и естественных радионуклидов в дельте Северной Двины

В данной работе авторы получили данные по содержанию радионуклидов в донных отложениях Северной Двины. Результаты подобных исследований могут быть применены для корректировки существующего радиационного мониторинга, а также для изучения процессов аккумуляции и миграции вещества.

Работа выполнена в рамках ФНИР «Особенности миграции элементов и их изотопов в компонентах окружающей среды Западного сектора Российской Арктики в условиях климатических и техногенных изменений» № 125022002727-2.

Литература

1. Алиев Р.А. и др. Радиоактивность Белого моря //Радиохимия. – 2006. – Т. 48. – № 6. – С. 557-561.
2. Гидрология устьевой области Северной Двины. – М.: Гидрометеиздат, 1965. – 376 с
3. Государственный водный реестр. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://textual.ru/gvr/index.php?card=158634>
4. Коротаяев В.Н., Репкина Т.Ю., Романенко Ф.А. Геоморфология и история формирования устьевых систем арктического побережья России // Морфодинамика устьевых систем крупных рек Арктического побережья России. М., 2017. – С. 33-40.
5. Магрицкий Д.В., Скрипник Е.Н. Опасные гидрологические процессы в устье Северной Двины и факторы их многолетней изменчивости //Вестник Московского университета. Серия 5. География. – 2016. – № 6. – С. 59-70.
6. Овсепян А.Е., Федоров Ю.А., Зимовец А.А. Факторы, определяющие миграцию и трансформацию ртути в устьях северных рек // Серия конференций IOP: Науки о Земле и окружающей среде. – Издательство IOP, 2021. – Т. 666. – № 3. – С. 032061.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ДЕНДРОХРОНОЛОГИИ И ДЕНДРОГЕОХИМИИ В ИЗУЧЕНИИ ТЕРРИТОРИИ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ И СОЦИАЛИСТИЧЕСКОЙ РЕСПУБЛИКИ ВЬЕТНАМ Ле Т.Х.Ш.

Научный руководитель профессор Н.В. Барановская
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Кольцевая структура на поперечном разрезе стволов большинства видов деревьев обусловлена разным размером клеток, что приводит к изменению цвета древесины. Вариация размера клеток обусловлена разными темпами роста дерева, которые зависят от климатических условий в годовом цикле. Химические элементы из окружающей среды поглощаются растениями разными путями и фиксируются в годовых кольцах, отражая изменение эколого-геохимических условий территории их произрастания. Дендрохронология и дендрогеохимия эффективно используются для реконструкции тенденций изменения параметров окружающей среды.

Целью данной работы является сравнение изменения ширины годовых колец и характеристики ртутной нагрузки в регионах с разной эколого-геохимической ситуацией.

Объектом исследования служат керны сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), отобранные на территории России и сосны далатенской (*Pinus dalatensis* Féré), отобранные на территории Социалистической Республики Вьетнам. Выбор сосны в качестве индикатора объясняется ее широким распространением в Северном полушарии. Высокая чувствительность к воздействию негативных факторов и экологическое значение различных частей сосен обусловили популярность их применения учеными в качестве растения-индикатора для решения задач в области дендрохронологии и дендрогеохимии.

Потенциальные источники поступления ртути в годовых кольцах – природные и антропогенные, о чем свидетельствуют различные исследования [1, 3, 8, 9]. Причем первые на исследуемых территориях отмечены наличием коренных месторождений золота. Вторые – повышенной техногенной нагрузкой на территории Томской области, обусловленной наличием крупной промышленной зоны. Основным вклад техногенной Hg в глобальный геохимический цикл вносят аэровывосы промышленности (предприятия черной и цветной металлургии, электростанция, работающая на угле, цементные и бумажные заводы), а также аэровывосы транспорта и добыча ископаемого топлива, включая нефть, уголь и золото. На территории Вьетнама в отсутствие крупной промышленной деятельности, техногенные ртутные ореолы обусловлены сжиганием биомассы, использованием удобрений и пестицидов в сельском хозяйстве, добычей кустарного золота и глобальным выпадением ртути.

Сбор проб кернов сосны производился в семи случайно выбранных точках: 4 точки на территории Томской области – мкр. Тимирязево («Тимирязево»), вблизи исследовательского ядерного реактора Томского политехнического университета («Реактор»), ООО «Томскнефтехим» («Нефтехим») и в с. Пашино («Пашино»), а для сравнения на территории Вьетнама – две точки в г. Далат и одна точка в провинции Даклак, находящихся в центральной части Вьетнама. Методика отбора пробы древесины с живых деревьев для изучения дендрохронологии и дендрогеохимии описана в работе [2]. Керны отбираются возрастным буром (Haglof, диаметр 4-5 мм и длиной до 50 см) на высоте 1,3 м от поверхности земли и помещаются в бумажные контейнеры, в которых образцы удобно транспортировать. Высверленные керны высушены при комнатной температуре, помещены в деревянные пеналы и отшлифованы, проведена предварительная датировка и маркировка колец. Измерение ширины кольца проводилось на приборе LINTAB с программным обеспечением TSAP-Win и Lignovision в Институте мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск). Точность измерения – 0,05 мм.

Содержание ртути определяли атомно-абсорбционным методом на анализаторе Hg PA-915+ с приставкой ПИРО-915 (метод пиролиза) в отделении геологии ТПУ. Предел обнаружения составляет 5 нг/г, точность определения – 5 нг/г при 1 г сухого вещества. Было проведено более 800 измерений годовых колец. Математическая обработка полученных данных проводилась стандартными методами статистического анализа с использованием программных пакетов MS Excel и STATISTICA.

Хронология деревьев на исследуемых территориях неравномерная, возраст сосен в Томской области составляет 80–92 лет; Вьетнам – 82–93 лет. Средняя ширина годового кольца в Томском районе составляет $2,7 \pm 0,14$ мм, самая узкая отмечается в точке «Реактор» ($2,2 \pm 0,09$ мм) и самая широкая – в точке «Нефтехим» ($3,1 \pm 0,21$ мм). Средняя ширина годового кольца в городе Далат наблюдается $2,1 \pm 0,19$ мм. Изменение ширины годовых колец сосны демонстрирует тенденцию к снижению с начала 1900-х годов до настоящего времени. Более того, три из четырех деревьев в Томской области показали одинаковую тенденцию прироста на протяжении всей своей хронологии. Следует отметить, что наиболее четко выраженное изменение ширины годового кольца нами обнаружено на отрезке с 1930 по 1974 год для сосны в Томском районе, кратность превышения в наименьший период 1975–2021 гг. составляет в точке «Тимирязево» – 1,2; «Пашино» – 1,8; «Реактор» – 1,6; «Нефтехим» – 2,3 раза и за весь период 1,1; 1,4; 1,3; 1,5 раза, соответственно. Для сосны в г. Далат максимальная ширина годового кольца ($2,6 \pm 0,16$ мм) выявлена в период 1912–1969 гг. и превышает среднюю ширину в период 1970–2023 гг. ($1,5 \pm 0,05$ мм) в 1,7 раза и среднюю ширину за весь период ($2,1 \pm 0,1$ мм) в 1,2 раза.

Среднее валовое содержание Hg в годовых кольцах установлено: Вьетнам – 582,1 нг/г, Томская область – 118,2 нг/г. На временном ряду выделяется два интервала, значение Hg в которых резко отличается друг от друга. Временной интервал с самыми высокими значениями содержания Hg происходит с 1930 по 1974 гг. в Томской области и с 1930 по 1969 гг. во Вьетнаме, кратность превышения по сравнению с самым низким периодом составляет: Вьетнам – 194,8, Томская область – 7,6. Похожие тенденции накопления Hg годовыми кольцами заключаются в постепенном снижении с 1930-х годов (рис.). В большинстве точек опробования наблюдаются максимальные всплески с 1930 по 1969 гг., которые совпадают с тенденцией повышенной концентрации в атмосфере по данным [4, 8].

Кроме того, нами обнаружено сходство в повышенном содержании Hg и ширины годового кольца во всех исследуемых точках. Согласно литературным данным, молодые растения характеризуются более высоким уровнем проводимости стомы и ферментативной активности [5], а поглощающая способность эпидермиса обычно снижается с возрастом ткани [7]. В результате скорость роста древесной биомассы и способность поглощения элементов у молодых деревьев выше, чем у взрослых [2, 6, 9].

Выводы. Среднее содержание Hg в кернах сосны во Вьетнаме превышает значение в Томской области, а также в фоновой точке «Даклак». Динамика накопления Hg демонстрирует тенденцию к снижению по хронологии деревьев и отмечается период повышения содержания ртути, согласующийся с повышенным значением ширины годового кольца и глобальной эмиссией Hg.

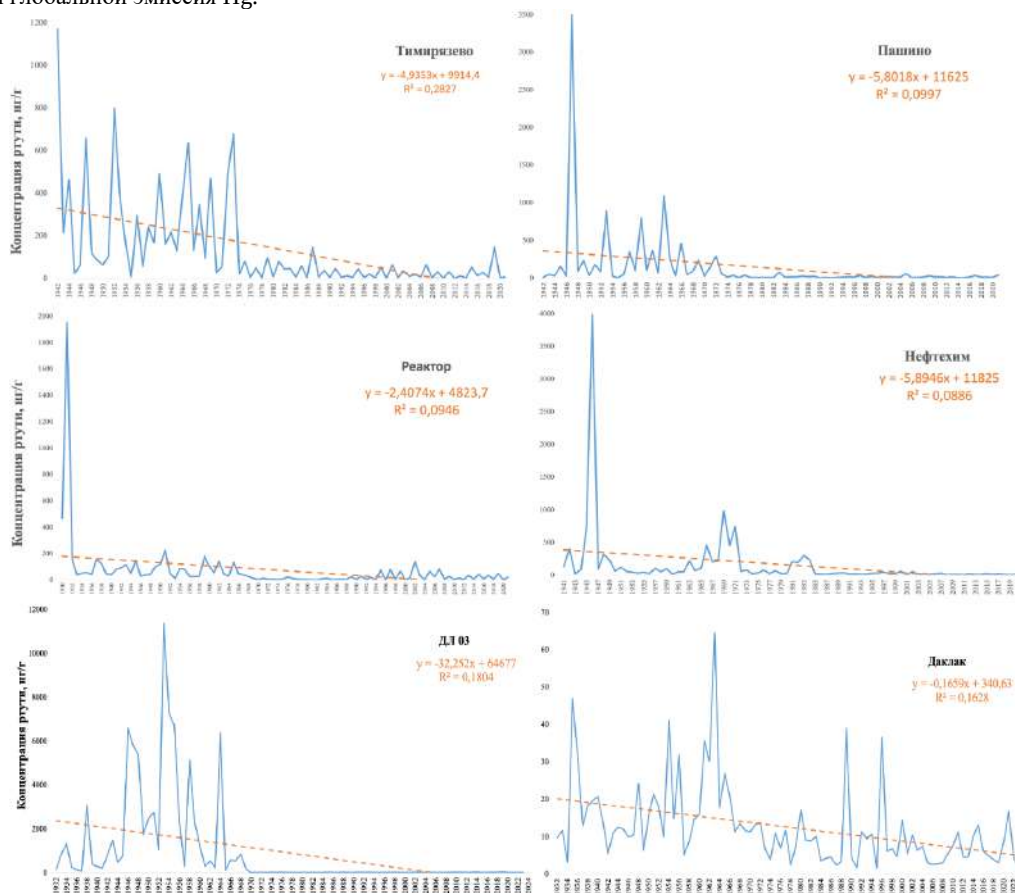


Рис. Динамика поступления Hg в древесные керны *Pinus sylvestris* L. на территории Томского района и *Pinus dalatensis* Ferré на территории Республики Вьетнам.

Литература

1. Ляпина, Е. Е. Эколого-геохимические особенности накопления ртути древесиной хвойных растений на территории Алтайского края / Е. Е. Ляпина // Лесотехнический журнал. – 2023. – Т. 13, № 4-2(52). – С. 95-109.
2. Матвеев, С.М., Румянцев, Д.Е. Дедхронология. – Воронеж: ВГЛТА, 2013. – 140 с.
3. Chen C. et al. Atmospheric mercury in a developed region of eastern China: Interannual variation and gas-particle partitioning // Heliyon. – 2023. – Т. 9. – № 10.
4. Ghotra A. et al. Tree-ring inferred atmospheric mercury concentrations in the Mackenzie Delta (NWT, Canada) peaked in the 1970s but are increasing once more // ACS Earth and Space Chemistry. – 2020. – Т. 4. – № 3. – С. 457-466.
5. Hubbard R. M., Bond B. J., Ryan M. G. Evidence that hydraulic conductance limits photosynthesis in old *Pinus ponderosa* trees // Tree physiology. – 1999. – Т. 19. – № 3. – С. 165-172.
6. Arnold J., Gustin M. S., Weisberg P. J. Evidence for nontomatal uptake of Hg by aspen and translocation of Hg from foliage to tree rings in Austrian pine // Environmental Science & Technology. – 2018. – Т. 52. – № 3. – С. 1174-1182.
7. Schreiber L. Polar paths of diffusion across plant cuticles: new evidence for an old hypothesis // Annals of Botany. – 2005. – Т. 95. – № 7. – С. 1069-1073.
8. United Nations Environment Programme. Global Mercury Assessment 2013: Sources, Emissions, Releases and Environmental Transport. <http://unep.org/hazardoussubstances/>. Assessment U. G. M. et al. Sources, emissions, releases and environmental transport // UNEP Chemicals Branch, Geneva, Switzerland. – 2013. – Т. 42.
9. Xu C. et al. Method to measure tree-ring width, density, elemental composition, and stable carbon and oxygen isotopes using one sample // Journal of Forestry Research. – 2024. – Т. 35. – № 1. – С. 56.

ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЧВ В РАЙОНЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ ОЛОНЬ-ШИБИРСКОГО КАМЕННОУГОЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (РЕСПУБЛИКА БУРЯТИЯ)

Ливента Д.С

Научный руководитель доцент Н.А. Осипова

Научный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Деятельность по добыче угля приводит к радикальным изменениям в геохимических циклах и часто приводит к деградации земель, изменяя текстуру и структурные характеристики почв [2]. Мелкие частицы пыли в местах добычи угля оказывают неблагоприятное воздействие на большую часть территории. Иногда эти частицы пыли могут быть обогащены токсичными микроэлементами. Такая пыль, оседая на землю, ухудшает качество почвы, а также влияет на здоровье человека [4]. Поэтому необходимо регулярно проводить мониторинг состояния окружающей среды, разрабатывать стратегии по смягчению негативных последствий [1].

Целью данной работы является проведение эколого-геохимической оценки почв посёлка Саган-Нур в Республике Бурятия. Объектом исследования являются пробы почв, отобранные на территории посёлка Саган-Нур Мухоршибирского района Республики Бурятия, в непосредственной близости к Тугнуйскому угольному разрезу.

В процессе исследования проб был изучен элементный состав почв с помощью инструментального нейтронно-активационного анализа. На основе полученных данных рассчитан коэффициент концентрации, который показал, какие химические элементы накапливаются в пробах почв (рис. 1). При сравнении средних содержаний элементов в пробах почв со средним содержанием элементов в верхней части континентальной земной коры по Григорьеву, наблюдается повышенное содержание хрома, мышьяка, рубидия, стронция, лантана, церия, европия, тербия и тория, что может являться следствием проявленности техногенной геохимической специализации рассматриваемой территории.

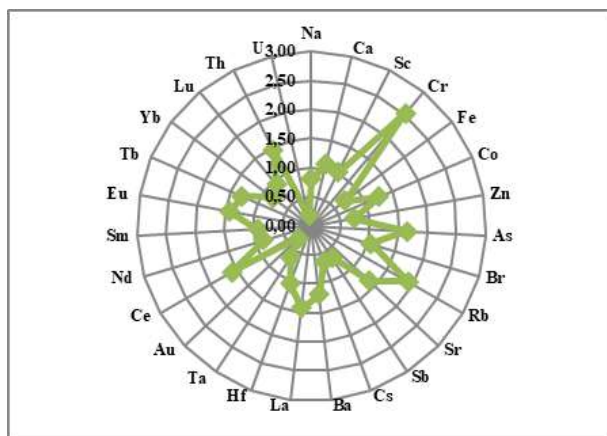


Рис. 2. Коэффициент концентрации для исследуемых проб почв (относительно кларков земной коры по Григорьеву)

Аналитическое определение содержания ртути в исследуемых образцах проводилось с использованием анализатора ртути. Среднее валовое содержание Hg в почвах составляет 24,1 нг/г. Максимальное содержание приходится на почвы, расположенные на территории парка, ФСК и школы (рис. 2). Региональное медианное значение фоновое содержание в почвах Забайкалья составляет 18 нг/г. Можно говорить о повышении содержания ртути в почвенном покрове в зоне застройки поселения.

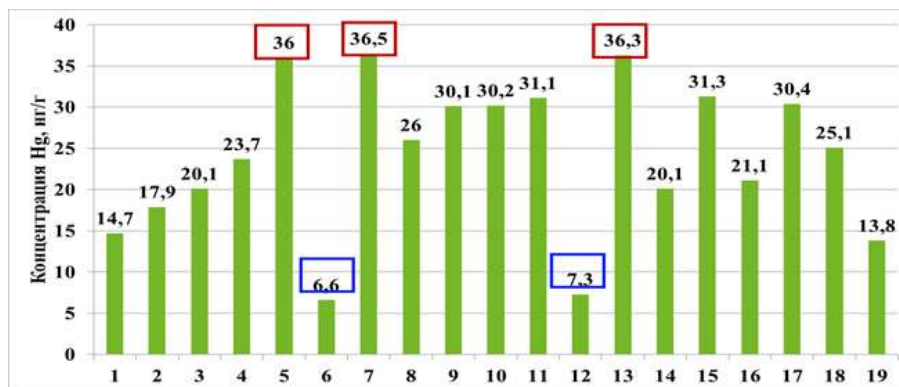


Рис. 3. Концентрация ртути в пробах почв

Также определены гидрогеохимические показатели водной вытяжки: pH, электропроводность и фторид-ионы. pH вытяжки условно фоновой пробы наиболее приближенная к pH нейтральной среды (pH 7,2). У остальных проб наблюдается устойчивая тенденция повышения pH в щелочную область, что свидетельствует о насыщении почвенных субстратов основаниями. Это обуславливает снижение устойчивости почвы к нагрузке, высокую чувствительность к взаимодействию с металлами.

Максимальное значение F⁻ наблюдается у проб, расположенных вблизи железной дороги и станции сортировки угля, а также рядом с точкой отбора проб, у которой была несанкционированная свалка. Диапазон изменения – 0,5–3,8 мг/л. Стоит отметить, что щелочные почвы адорбируют фтор гораздо слабее, чем кислые.

Электропроводность характеризует наличие электролитов – ионов натрия, калия, кальция, хлора, сульфатов и гидрокарбонатов. Только в 2 точках отбора проб электропроводность на уровне фона. Диапазон – от 70 до 475 мСм/см. Чем выше значение электропроводности, тем более высокая концентрация солей в пробе.

На основе данных нейтронно-активационного анализа, была построена дендрограмма, которая показывает корреляционные связи химических элементов (рис. 3). В почвах района исследований наиболее крупные геохимические ассоциации представлены элементами, имеющими наиболее высокие коэффициенты концентрации. Их высокая корреляционная связь может быть обусловлена тем, что эти элементы находятся в одной группе периодической таблицы, и имеют схожие химические свойства. Стоит отметить, что ассоциации элементов Ag и Sr, Cs и Br, Sb и As могут быть обусловлены тем, что их концентрации в углях выше кларковых значений [3].

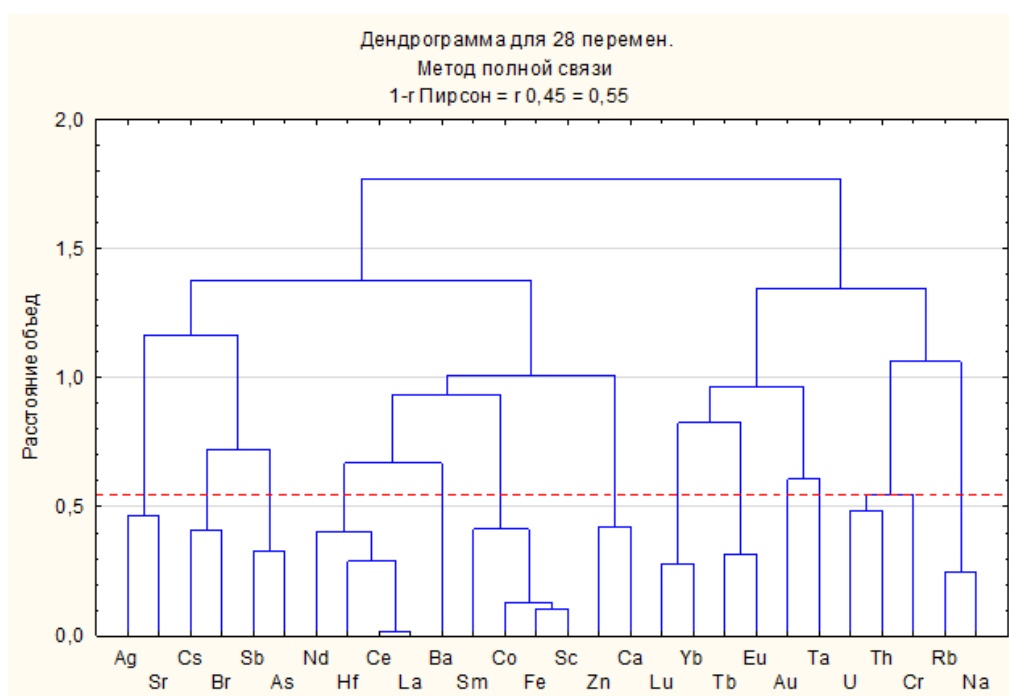


Рис. 4. Дендрограмма корреляционной матрицы

Литература

1. Куклина М.В. и др. Перспективы использования малых угольных разрезов Республики Бурятия // Фундаментальные исследования. – 2018. – № 4. – С. 98-103.
2. Осипова Н.А. и др. Тяжелые металлы в почвах в районах воздействия угольных предприятий и их влияние на здоровье населения //Безопасность в техносфере. – 2015. – Т. 4. – № 2. – С. 16.
3. Юдович Я.Э., Кетрис М.П., Мерц А.В. Элементы-примеси в ископаемых углях. – Наука. Ленингр. отд-ние, 1985.
4. Poonia P.A review on impact of coal mining on soil properties and reclamation by organic amendments / P. Poonia, R.P. Choudhary, S. Parihar // Eco. Env. & Cons. – 2020. – P. 188-196.

СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ИОННОГО СОСТАВА ВОД ОСНОВНЫХ ЭКОСИСТЕМ ОЛИГОТРОФНЫХ БОЛОТ

Литвинов Л. В.

Научный руководитель старший научный сотрудник Е.А. Заров
Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск, Россия

Олиготрофные болота бореальной части Западной Сибири являются значительными источниками растворённого вещества в реки, формируя среду обитания для гидробионтов рек с болотным водосбором. Состав болотной воды в большей степени представлен растворённым органическим веществом и в меньшей степени минеральными соединениями. Формирование органической части растворённого вещества происходит за счёт деструкции торфа и различных биохимических процессов. Большая часть минерального вещества в болотных водах формируется атмосферными осадками и трансформируется под воздействием болотных фитоценозов. Данные изменения связаны с гидрологическими особенностями экосистем и ролью компонентов в биогеохимическом цикле болот [1, 3]. Преобразование неорганической фракции происходит за счёт взаимодействия с растворённым органическим веществом, где часть минеральных компонентов сорбируется органическими соединениями, либо вступает с ними в реакцию [3]. Другим процессом, определяющим концентрации микроэлементов, является их биологическое потребление экосистемой [2].

Учитывая взаимосвязь минеральной и органической фракций, мониторинговые измерения концентраций микроэлементов являются важным аспектом при определении сезонной вариабельности растворённого органического углерода как основного макрокомпонента болотной воды. В данной работе рассмотрена сезонная изменчивость ионного состава воды как показателя, отражающего концентрации макрокомпонентов минеральной фракции.

Материалы и методы. Исследование проводилось на международном полевом стационаре Мухрино, расположенном в 20 км от г. Ханты-Мансийск. Территория является ненарушенным олиготрофным болотом. Точки для пробоотбора закладывались, учитывая ландшафтную структуру болота, и включали в себя участки основных экосистем (грядово-мочажинный комплекс, грядово-озерковые комплексы и типичные рямы). Отбор проб проводился раз в две недели в период с мая по сентябрь. В полевых условиях измерялись показатели pH, ЕС и t° . В течение суток образцы отправлялись в лабораторию и фильтровались при помощи шприцевых фильтров с размером пор 0,45 мкм (Whatman).

Определение минеральных компонентов происходило на ионном хроматографе Metrohm 882 IC Compact plus с колонками Metrosep supp 19 и Metrosep C4. В качестве подвижной фазы использовались раствор $\text{Na}_2\text{CO}_3/\text{NaHCO}_3$ (8 ммоль/л и 0,25 ммоль/л, соответственно) для определения анионов и 4 ммоль/л HNO_3 для определения катионов. Данная методика позволяет определять концентрации стандартного набора ионов (Na, K, NH_4 , Mg, Ca, Cl, Br, NO_3 , PO_4 , SO_4). Калибровка проходила с использованием соответствующих стандартов («ЦСОВВ», Россия).

Результаты. Результаты мониторинга были визуализированы в виде трёх диаграмм Пайпера (рис.).

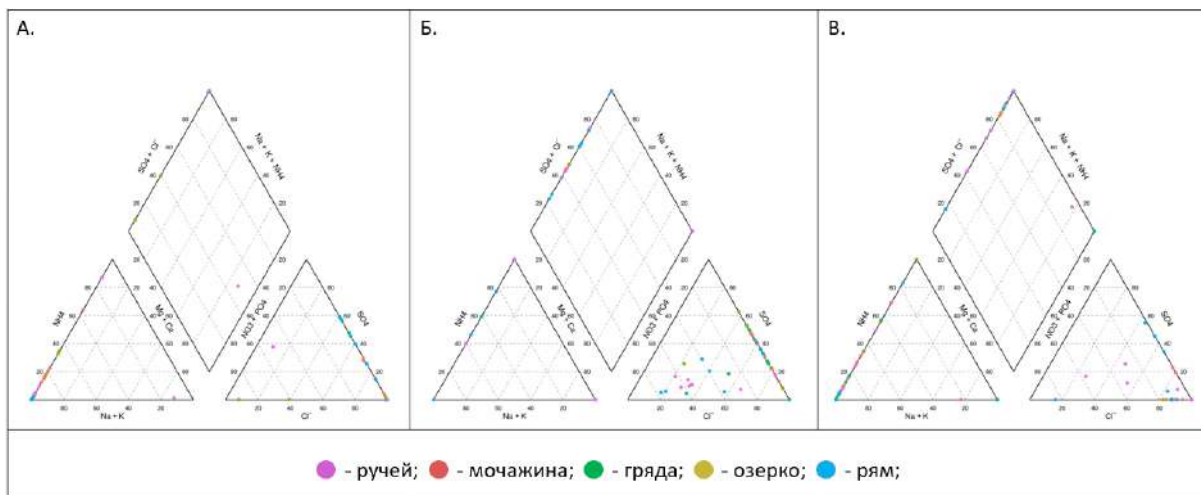


Рис. Сезонная динамика основных ионов в болотных водах.

Примечание: буквами обозначены гидрологические сезоны А – половодье, Б – межень, В – паводок

На протяжении гидрологического года в ионном составе болотных вод превалируют группы Na^+K^+ и $\text{SO}_4^{2+}\text{Cl}^-$. Органогенные ионы зачастую представлены соединениями аммония. Среднее содержание NH_4^+ равно 39 % от суммы катионов, достигая 100 % в отдельных образцах. Группа органогенных анионов, которая является суммой PO_4^{3-} и NO_3^- , представлена средней концентрацией 6–7 % от суммы анионов. Катионы Ca^{2+} и Mg^{2+} представляют 5 % от суммы катионов и чаще встречаются в водах ручьёв.

Для сезона половодья характерен наибольший вынос минеральных соединений (в среднем 3,16 мг/л). В рассматриваемый период ионный состав болотных вод почти полностью сложен группами $\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$ и $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ (96 и 82 %, соответственно). Вынос органогенной фракции слаб выражен и чаще представлен ионами NH_4^+ (15 % от массы катионов). Появление анионов PO_4^{3-} и NO_3^- в гидрохимической системе болот имеет эпизодический

характер с частым полным отсутствием. При обнаружении содержание данной группы варьируется в пределах 50–60 % от суммы анионов.

Сезон межени отличается резким понижением концентраций минеральной фракции (в среднем 1,45 мг/л). Изменения также затрагивают соотношения соединений, где содержание группы $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ уменьшилось в среднем на 13 % при возрастании концентрации катионов NH_4^+ . Отмечается увеличение варибельности значений внутри группы $\text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^-$, где стала более выраженной детерминация точек относительно оси иона SO_4^{2-} .

Характерным отличием сезона осеннего паводка является обилие органических ионов при малом общем выносе минерального вещества (0,52 мг/л). Наиболее выражено повышение концентраций иона NH_4^+ с средним содержанием 86 %. Для группы анионов $\text{NO}_3^- + \text{PO}_4^{2-}$ также характерно повышение (фракция представляет 10 % от суммы анионов). Несмотря на это, превалирующим остаётся содержание группы неорганических ионов $\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, проект № 25-27-00272 «Вынос растворенного органического вещества и сопряженных с ним микроэлементов из верхового болота, его трансформация в гидрологическом континууме»

Литература

1. Иванов К.Е. Гидрология болот. – СПб.: Гидрометеорологическое издательство, 1953. – 300 с.
2. Степанова В.А., Покровский О.С. Макроэлементный состав торфа выпуклых верховых болот средней тайги Западной Сибири (на примере болотного комплекса «Мухрино») // Вестник Томского государственного университета. – 2011. – № 352. – С. 211-214.
3. Fudyma J.D. et al. Coupled biotic-abiotic processes control biogeochemical cycling of dissolved organic matter in the columbia river hyporheic zone // Frontiers in Water. – 2021. – V. 2. – P. 574692.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ДОБЫЧИ ЗОЛОТА В РЕСПУБЛИКЕ МАЛИ

Маимуна Садиа Тункара

Научный руководитель профессор О.Е. Лепокурова

Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия

Одним из основных направлений горнодобывающей деятельности Африки является золотодобыча, которая вносит значительный вклад в валютные поступления и создания рабочих мест [1]. Мали, по разным оценкам, является одним из ведущих производителей золота в Африке. Основные районы добычи расположены в южной части страны, где находятся крупные месторождения (рудники Морила, Садьола, Лоуло-Гункото, Ятела и др.). При этом более 70 % от общего объема экспорта страны составляет кустарная добыча золота, т.е. мелкомасштабная неформальная добыча полезных ископаемых, которая обычно осуществляется отдельными лицами или небольшими группами людей. Отличительной чертой кустарной добычи, кроме менее «чистой» добычи, отсутствия нормальных условий труда, низкой заработной платы, является отсутствие мер по защите окружающей среды [2]. Эксплуатация носит хаотический характер, не поддается регулированию и имеет серьезные последствия для местной окружающей среды, соседних общин и национальной экономики. Цель этого исследования – изучить воздействие золотодобычи в Республике Мали на окружающую среду и дать рекомендации по минимизации негативного фактора.

Процесс кустарной золотодобычи схематично представлен на рисунке. Есть в Мали и промышленная (шахтная) добыча золота, которая осуществляется иностранными инвесторами. В целом, кустарная золотодобыча оказывает значительное воздействие на окружающую среду, и это воздействие часто усугубляется отсутствием нормативных актов во многих африканских странах [1].



Рис. Схема процесса кустарной золотодобычи в Мали

Основные виды воздействий на окружающую среду описаны ниже.

Уничтожение лесов. Кустарная добыча золота часто ведется в лесных районах, что приводит к вырубке лесов. Обезлесение может иметь серьезные последствия для экосистемы, включая потерю среды обитания для диких животных, эрозию почвы и нарушение водных циклов.

Деградация почвы. Любая добыча золота связана с удалением верхнего слоя почвы и растительности, что может привести к деградациии почвы. Это может снизить плодородие почвы и привести к эрозии, в результате чего земле будет трудно поддерживать растительную жизнь в будущем.

Негативное воздействие золотодобычи на фауну и флору. Добыча полезных ископаемых в Мали, как правило, ведется в районах с богатым биоразнообразием. В первую очередь страдает флора, что автоматически порождает деградацию фауны. Случаются утечки токсичных веществ, таких как цианиды и ртуть, при выщелачивании руды. Нарушаются естественные условия обитания животных, особенно тех, кто не может легко убежать, таких как беспозвоночные, пресмыкающиеся или мелкие млекопитающие. Водные виды, такие как рыбы и амфибии, также серьезно страдают при загрязнении или осушении рек, озер или болот.

Нарушение гидрологического цикла. Обезлесение и деградация земель, связанные с добычей полезных ископаемых, изменяют круговорот воды. Нарушенные почвы увеличивают сток, уменьшают инфильтрацию и ускоряют эрозию, которая серьезно влияет на водосборы. Реки заиливаются, а водная среда обитания деградирует.

Чрезмерная эксплуатация водных ресурсов. Шахты забирают огромное количество воды для своей работы, что приводит к осушению рек и грунтовых вод. Это приводит к высыханию родников и колодцев, лишая местное население питьевой воды. Что еще хуже, после закрытия шахт повышение уровня грунтовых вод может вызвать наводнения, что сделает некоторые районы непригодными для жизни.

Загрязнение воды. Использование ртути и цианидов в процессе добычи золота может привести к загрязнению водных источников, что ведет к загрязнению воды. Это загрязнение может иметь значительные последствия для водной флоры и фауны и здоровья человека, поскольку ртуть и цианид являются токсичными веществами [3].

Загрязнение воздуха. Сжигание ртути и использование дизельных генераторов и другой техники в процессе добычи полезных ископаемых может привести к загрязнению воздуха. Это может иметь серьезные последствия для здоровья шахтеров и жителей близлежащих районов, поскольку воздействие твердых частиц может вызвать проблемы с дыханием. Выбросы в атмосферу на руднике особенно остро ощущаются в засушливых районах, где выпадает мало естественных осадков для увлажнения пыли. Эти выбросы также могут влиять на рост растений, блокируя их биологические системы, и влиять на социальную среду (хронические заболевания Респираторные заболевания, расстройства пищеварения и другие проблемы, связанные с загрязнением, распространены среди населения, проживающего вблизи мест промывки золота).

Социально-экономические последствия. По данным Международной федерации за права человека, дети часто становятся жертвами принудительного и опасного труда и сексуального насилия в районах добычи полезных ископаемых. Та же организация также осуждает неравномерное распределение богатства в этих районах, несмотря на огромные прибыли, получаемые в горнодобывающем секторе и вызывающие перемещение населения и образа жизни, напряженность в отношениях между различными этническими группами или кланами, часто усугубляемую бедностью и отсутствием экономических возможностей [4].

Добыча полезных ископаемых может влиять на отношения с коренными общинами, поднимаются вопросы прав на землю. В этих конфликтах поставлены большие ставки, влияющие на устойчивость местных средств к существованию и платежеспособность национальных правительств. Опасения по поводу качества и количества воды вызвали многочисленные, а иногда и жестокие конфликты между шахтерами и общинами.

Проблемы общественного здравоохранения, связанные с загрязнением окружающей среды и безопасностью работников. Загрязнение, вызванное кустарной добычей золота, также имеет серьезные последствия для здоровья населения. Использование ртути в процессе добычи подвергает значительному риску не только шахтеров, но и население окрестностей. Ртуть известна своим нейротоксическим действием, особенно у детей [5]. Места добычи опасны и необходимо принять необходимые меры для минимизации ущерба. О чем свидетельствует недавнее обрушение золотого рудника в Мали, повлекшее за собой гибель более 70 человек [6]. Это может быть связано с нестабильными условиями труда и недостаточным контролем со стороны властей. Для защиты прав трудящихся необходимо обеспечить соблюдение строгих трудовых норм.

Мировые примеры некоторых успешных горнодобывающих проектов, направленных на сохранение и устойчивое развитие окружающей среды. Перечислим четыре основных: 1) алмазный рудник Диавик (Канада); часто упоминается за свои экологические инициативы, включая управление водными ресурсами, защиту дикой природы и реабилитацию участков после добычи; 2) медный рудник Чукикамата (Чили) – один из крупнейших открытых рудников в мире, где реализована программа по минимизации воздействия на окружающую среду, включающая проекты по переработке воды и лесовосстановлению; 3) золотой рудник Янакоча (Перу) – компания приняла меры по сокращению потребления воды и работала над проектами по восстановлению лесов и сохранению биоразнообразия. 4) железный рудник Кархас (Бразилия) получил признание за свои усилия по сохранению окружающей среды, в частности, путем создания природного заповедника, который является одним из крупнейших в стране.

Рекомендации по минимизации негативного фактора от кустарной добычи золота. Горнодобывающая промышленность может внести позитивный вклад в устойчивое развитие Республики Мали. Для этого важно содействовать прозрачности, укреплять отраслевое управление и способствовать сотрудничеству между правительствами, горнодобывающими компаниями, гражданским обществом и местными сообществами. Это позволит не только свести к минимуму негативное воздействие на окружающую среду, но и максимизировать положительные выгоды для страны. Ответственная и устойчивая добыча полезных ископаемых в Мали возможна, если она осуществляется в соответствии с правильной политикой, если она реализуется с использованием правильных технологий и руководствуется этикой уважения к окружающей среде и людям [1]. Принимая во внимание

эти различные аспекты, горнодобывающая промышленность может стать движущей силой устойчивого развития Мали, сохраняя при этом богатство природной среды и обеспечивая благополучие общества [5]. Комплексный подход, объединяющий экологическую и социальную ответственность, является ключом к будущему, в котором добыча полезных ископаемых может сосуществовать с благополучием экосистем и людей.

Литература

1. Кирсанов А.К. Развитие кустарной добычи золота в Африканском регионе: исторический обзор // Известия УГГУ. – 2023. – Вып. 3(71). – С. 159–171.
2. Новости Мали [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://fr.africanews.com/2024/01/25/mali-plus-de-70-morts-dans-leffondrement-dune-mine-dor>
3. Официальный сайт Министерства горнорудной промышленности Мали [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.mines.gouv.ml>.
4. Официальный сайт неправительственной организации по правам человека [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.hrw.org/fr/news/2011/12/06/mali-les-mines-artisanales-dor-recourent-autravail-des-enfants>.
5. Cappelaere P. et Ndiaye, F. La Falémé menacée de mort par l'orpaillage // Afrique contemporaine. – 2024. – 277(1). – P. 245-252.
6. Laing T., Pinto A.N. Artisanal and small-scale mining and the low-carbon transition: Challenges and opportunities // Environmental Science & Policy. – 2023. – Vol. 149. – 103563.

РАЗРАБОТКА МЕТОДОЛОГИЧЕСКОГО ПОДХОДА К ОЦЕНКЕ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПЛОЩАДКИ БАЛАПАН НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ДЕСТРУКТИВНЫХ ПРОЦЕССОВ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ

Марченко И.О.

Филиал НЯЦ РК Институт геофизических исследований, г. Курчатов, Казахстан

Подземные ядерные взрывы оказывают одно из наиболее значительных техногенных воздействий на геологическую среду, приводя к её глубинным изменениям. Энергетическое воздействие вызывает деструкцию массива горных пород, формирование зон вторичной трещиноватости и изменение их физико-механических характеристик.

На площадке «Балапан» бывшего Семипалатинского испытательного полигона проведено 106 подземных ядерных испытаний на глубинах до 650 м, что привело к значительным структурным изменениям в массиве горных пород. Разрушение пород сопровождалось увеличением пористости, образованием зон повышенной трещиноватости и тектонических нарушений, которые могут выступать в качестве каналов для миграции радиоактивных веществ. Однако данные о подземном пространстве фрагментарны и ограничены исследованиями отдельных скважин, что затрудняет точное определение границ зон загрязнения и оценки их динамики во времени.

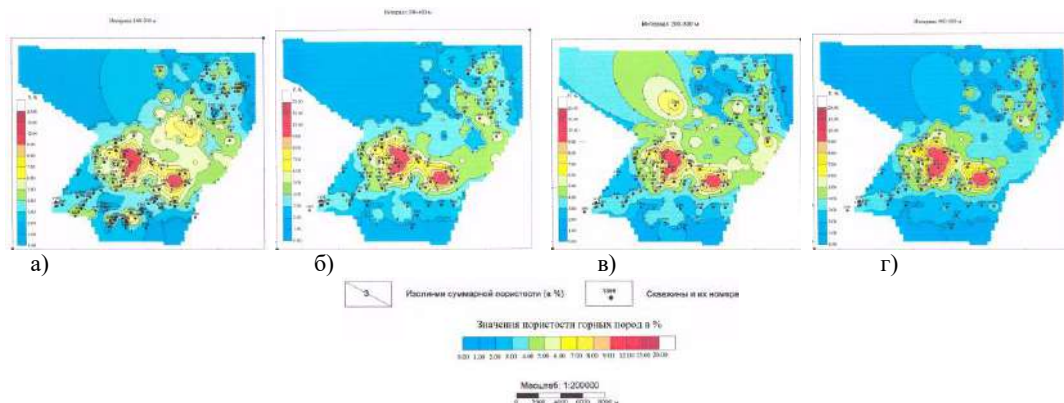
Актуальной задачей является разработка методического подхода, позволяющего на основе существующих данных систематизировать и прогнозировать геодинамические процессы, оказывающие влияние на распространение радиоактивного загрязнения. Динамичность подземной среды под воздействием природных и техногенных факторов и отсутствие непрерывного мониторинга осложняют точное определение границ загрязнённых территорий, требуя методологического обоснования их устойчивости.

В данной работе предложен подход к районированию территории с учётом поствзрывных изменений пород, геологических структур и гидродинамических условий.

Методика исследования. Методика включает анализ архивных данных о подземных ядерных взрывах, численное моделирование деструкции пород на основе теории сильного взрыва, верификацию результатов с геофизическими исследованиями и районирование территории по степени разрушения. Проведена оценка уровня радиоактивного загрязнения, выявлены зоны максимальной трещиноватости, способствующие миграции радионуклидов. Выделены участки с высокой деструкцией и загрязнением, что позволило уточнить границы площадки «Балапан» с учётом экологических рисков.

Результаты исследования. В Институте геофизических исследований проведено моделирование деструкции горных пород в пределах площадки «Балапан» под воздействием серии подземных ядерных взрывов, выполненных в различных скважинах. Для оценки степени разрушения массива использован метод расчета вторичной трещиноватости на основе теории сильного взрыва Седова-Неймана, позволяющий определить изменения пористости пород в результате взрывного воздействия [2].

Суммарное поле пористости было получено путем объединения данных об исходной пористости горных пород и расчетных значений вторичной трещиноватости. Визуализация результатов выполнена в виде серии погоризонтных планов и разрезов для интервалов 200, 300, 400 и 500 м (рис. 1), отражающих пространственное распределение деструктивных изменений на разных глубинах.



Погоризонтные планы: а – 100-200 м, б – 200-300 м, в – 300-400 м, г – 400-500 м

Рис. 1. Карты изолиний суммарной пористости пород на площадке «Балапан» с различными интервалами [4]

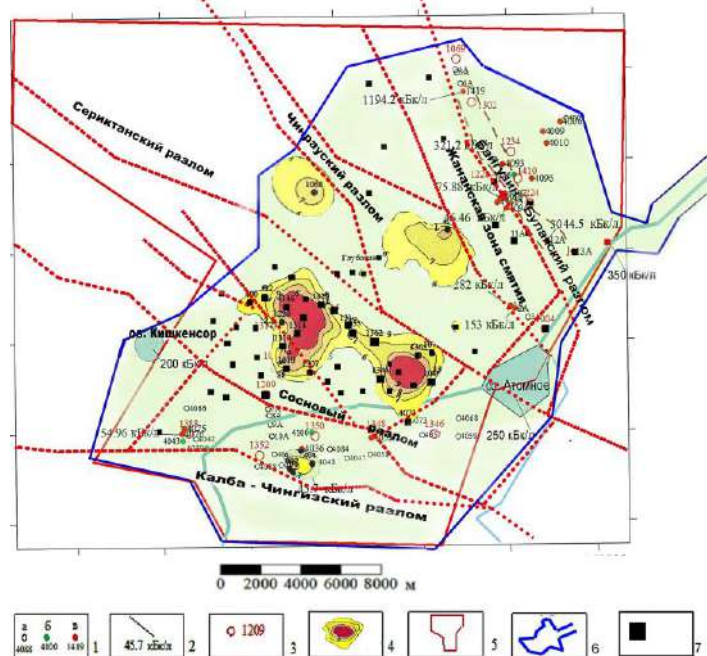
Анализ суммарной пористости горных пород проведён путем сопоставления расчетных данных с геолого-геофизическими исследованиями площадки «Балапан». Выявлена корреляция между зонами повышенной пористости и областями максимальной деструкции. Наибольшие значения зафиксированы в центральной части (скважины 1314–1304, 1344–1363), менее выраженные – в северо-западной зоне (скважина 1203).

Пористость пород возрастает до глубины 400-500 м, после чего снижается. Максимальные значения в аномальных зонах достигают 20 %, минимальные (1-2 %) характерны для периферийных участков.

На основе данных районирования выделены зоны с высокой геодинамической неустойчивостью, где зафиксированы провальные явления и газовыделение. Эти области наиболее подвержены дальнейшим деформационным процессам и требуют особого контроля [6].

Радиоактивное загрязнение площадки «Балапан» локализовано в районах с интенсивными поствзрывными процессами и тектоническими разломами, что способствует миграции радионуклидов. Максимальные концентрации ^3H выявлены в поверхностных водах реки Шаган (до 350 кБк/кг) и «Атомного» озера (до 250 кБк/кг), а также в подземных водах (до 3000 кБк/кг в скважине 12А). На дневной поверхности повышенное содержание ^3H зафиксировано у скважин 1010, 1207, 1267 и других, достигая 20 кБк/кг [1, 5, 6].

На основе проведённого исследования выполнена предварительная оценка соответствия границ площадки «Балапан» с учётом полученных данных. Представленная схема районирования носит иллюстративный характер и демонстрирует возможности методического подхода, однако не является окончательным результатом (рис. 2).



1 – наблюдательные скважины: а – ^3H не обнаружен или его содержание $<0,1 \text{ УВ}$, б – содержание $^3\text{H} > 0,1 \text{ Бк/л}$, в – содержание $^3\text{H} > \text{УВ}$; 2 – повышенные (более 5 УВ) содержания ^3H ; 3 – контролируемые боевые скважины; 4 – область суммарной пористости пород выше 6 %; 5 – контур участка «Балапан»; 6 – граница развития поствзрывных процессов; 7 – скважины в углифицированных породах

Рис. 2. Схема геоэкологического районирования пл. «Балапан»

Заключение. Проведённое исследование подтверждает значительное влияние подземных ядерных взрывов на геологическую среду площадки «Балапан». Выявлены зоны повышенной трещиноватости и деструкции пород, которые определяют пути миграции радиоактивных загрязнителей. Разработанная схема районирования территории демонстрирует распределение зон с разной степенью деструктивных изменений, однако её следует рассматривать как предварительный результат. Ввиду динамичности подповерхностных процессов, обусловленных техногенными и природными факторами (промышленные взрывы, активный гидродинамический режим), для корректного определения границ загрязнённых территорий необходим непрерывный мониторинг недр, что в настоящее время технически и финансово ограничено. Таким образом, ключевым направлением дальнейших исследований является разработка методологической основы, позволяющей систематизировать имеющиеся данные и формировать прогнозные модели распространения радиоактивного загрязнения.

Литература

1. Айдарханов А.О. и др. Радиоактивное загрязнение вод реки Шаган (по результатам 2011-го года) // Радиация и риск (Бюллетень Национального радиационно-эпидемиологического регистра). – 2014. – Т. 23. – № 4. – С. 35-42.
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Гидродинамика, 1986. – 733 с.
3. Михайлов В.Н. Ядерные испытания СССР. Том II: технологии ядерных испытаний СССР. Воздействие на окружающую среду. Меры по обеспечению безопасности. Ядерные полигоны и площадки // Ядерные полигоны и площадки [Текст] / коллектив авторов под руководством В.Н. Михайлова. – Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ. – 1997.
4. Мурзадилов Т.Д. Некоторые методы расчёта геофизических и геохимических следствий от подземных ядерных взрывов. – 2019.
5. Субботин С.Б., Лукашенко С.Н., Айдарханов А.О. // V Междунар. конф. «Ядерная и радиационная физика». – Алматы: ИЯФ, 2005. – С. 71-83.
6. Токтаганов Т.Ш. и др. Оптимизация мониторинговых наблюдений вод на радиационно-опасных участках сип при помощи метода изотопной гидрологии // Вестник НЯЦ РК. – 2018. – № 4. – С. 44-48.
7. Шайторов В.Н. Геоэкологическое районирование территории СИП по геолого-геофизическим данным (на примере участков Балапан и Сары-Узень) / Шайторов В.Н., Казакова Ю.И., Великанов А.Е., Жолдыбаев А.К. // Вестник НЯЦ РК. – Выпуск 2. – Курчатов, 2013.

АНАЛИЗ МЕЗОМАСШТАБНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СО И СО₂ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ В ГОРОДСКОЙ, ПРИГОРОДНОЙ И ФОНОВОЙ ЗОНАХ Г. ТОМСК

Марченко О.О.¹, Белан Б.Д.²

¹Филиал НЯЦ РК Институт радиационной безопасности и экологии, г. Курчатов, Казахстан

²Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева, г. Томск, Россия

Изучение концентраций монооксида углерода (СО) и диоксида углерода (СО₂) в приземном слое атмосферы городских территорий является важной задачей современной физики атмосферы ввиду значительного влияния этих газов на химический состав атмосферы, климатические процессы и экологическое состояние территории. Помимо антропогенных источников, значительный вклад в формирование концентраций СО и СО₂ в атмосфере могут вносить естественные процессы, такие как дыхание растений и почв, процессы микробного разложения органического вещества, а также природные лесные пожары и торфяные возгорания [1-4]. В этой связи актуальным становится проведение детального мезомасштабного анализа пространственно-временных закономерностей и особенностей распределения СО и СО₂, обусловленных взаимодействием антропогенных и естественных источников, с целью разработки эффективных подходов к оценке и прогнозированию состояния атмосферы.

Мезомасштабный подход в атмосферных исследованиях позволяет детально учитывать влияние локальных атмосферных процессов и явлений, развивающихся в пространственных масштабах от нескольких километров до нескольких десятков километров и временных масштабах от часов до суток.

Цель настоящей работы заключается в мезомасштабном исследовании особенностей формирования суточного и сезонного хода концентраций СО и СО₂ в приземном слое атмосферы г. Томск. Для достижения поставленной цели определены следующие задачи: проведение пространственно-временного анализа данных о концентрациях СО и СО₂, полученных на измерительных постах, характеризующихся разной степенью воздействия естественных и антропогенных источников; исследование влияния метеорологических параметров (температура воздуха, скорость ветра) на вариабельность исследуемых газов.

Полученные результаты могут быть использованы для совершенствования мониторинга и прогнозирования состояния приземного слоя атмосферы и разработки мероприятий по улучшению качества атмосферного воздуха.

Методология исследования основана на анализе данных, полученных с сети автоматизированных измерительных постов Института оптики атмосферы им. В.Е. Зуева, расположенных в различных зонах г. Томск: городской, пригородной и фоновой (рис.). Измерения концентраций СО и СО₂ осуществляются непрерывно с помощью высокочувствительных газоанализаторов, дополненных метеорологическими датчиками. Полученные данные обрабатываются с использованием методов статистического анализа, включающих корреляционный и кластерный анализы для выявления закономерностей вариабельности газовых компонентов и их взаимосвязи с метеорологическими параметрами.

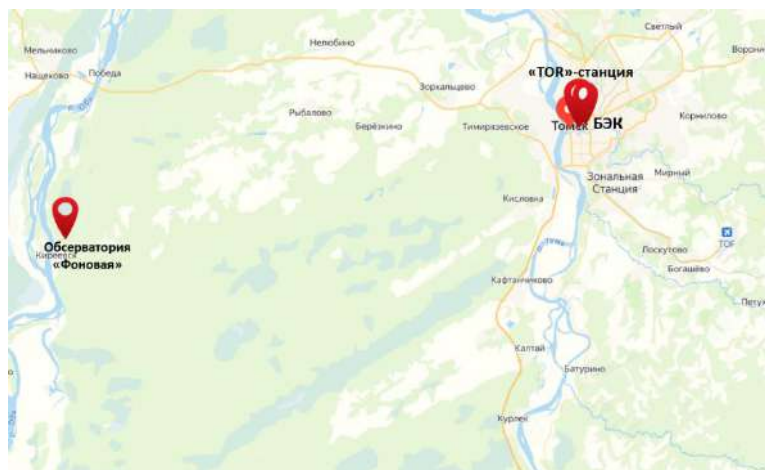


Рис. Расположение постов мониторинга

Результаты исследования показали наличие выраженных мезомасштабных особенностей в распределении концентраций СО и СО₂ в атмосфере г. Томск. Анализ данных мониторинга, полученных на трех стационарных постах комплексного наблюдения (городской, пригородный и фоновый), продемонстрировал существенные различия в концентрациях газов на разных мезомасштабах. На мезомасштабе β (20-200 км) установлены относительно умеренные градиенты концентраций, в то время как на мезомасштабе γ (2-20 км) наблюдалось резкое возрастание градиентов, в частности в городской и пригородной зонах, обусловленное локальными источниками выбросов и особенностями циркуляции атмосферы.

Суточная динамика концентраций СО характеризовалась максимальными значениями в утренние и вечерние часы, связанными с изменениями в интенсивности транспортного потока и формированием приземных температурных инверсий. Концентрация СО₂ демонстрировала наибольшие амплитуды вариаций ночью, обусловленные интенсивным дыханием растительности и почв, а днем отмечалось ее снижение вследствие фотосинтеза и активного перемешивания атмосферного слоя.

Исследование сезонной изменчивости концентраций СО и СО₂ показало, что их уровень значительно варьируется в течение года. Максимальные концентрации СО наблюдаются в зимний и летний периоды. В холодный период это связано с увеличением выбросов от отопительных систем и неблагоприятными метеорологическими условиями, такими как температурные инверсии и слабая турбулентность, препятствующая рассеиванию загрязняющих веществ. В теплый в основном с природными источниками. В летнее время биогенные выбросы [5] СО усиливаются за счет процессов разложения органического вещества, выбросов почвы и растительности, а также из-за лесных пожаров, которые являются важным источником СО в атмосфере.

Концентрации СО₂ демонстрируют сезонную динамику, обусловленную биологической активностью растений. Зимой концентрации СО₂ максимальны, что связано с уменьшением фотосинтетического поглощения и аккумуляцией газа в приземном слое атмосферы. Летом, напротив, концентрации СО₂ снижаются вследствие активного фотосинтеза и увеличенного обмена между атмосферой и подстилающей поверхностью. Весной и осенью наблюдается переходный характер изменения концентраций, связанный с изменением биологической активности и метаболизма экосистем.

Анализ влияния температуры воздуха и скорости ветра выявил закономерности, соответствующие общепринятым в мировой практике результатам. В зимний период низкие температуры и слабый ветер приводят к формированию устойчивой стратификации атмосферы, ограничивающей перемешивание и способствующей накоплению СО и СО₂ в приземном слое. В летний период повышение температуры коррелирует с повышением концентраций СО, что, возможно, происходит из-за разложения органики, эмиссии из почвы и растительности, а также лесных пожаров, которые являются важным источником СО в атмосфере. При этом усиление ветра в теплое время года приводит к более активному рассеиванию и снижению концентраций СО₂, тогда как в зимний период слабая турбулентность ограничивает этот процесс.

Заключение. Проведённое исследование выявило значимые мезомасштабные особенности суточного и годового хода концентраций СО и СО₂ в приземном слое атмосферы г. Томска и прилегающих территорий, включая пригородные и фоновые зоны, относящиеся преимущественно к мезомасштабу γ (2-20 км). Установлено, что концентрации СО достигают максимума в утренние и вечерние часы, в то время как концентрации СО₂ максимальны ночью и минимальны днем. Выявленные закономерности демонстрируют выраженную зависимость концентраций этих газов от температурных условий и скоростных характеристик ветра, что подчёркивает необходимость учёта мезомасштабных атмосферных процессов при организации мониторинга и прогнозирования качества атмосферного воздуха.

Литература

1. Бондур В. Г., Гордо К. А., Кладов В. Л. Пространственно-временные распределения площадей природных пожаров и эмиссий углеродсодержащих газов и аэрозолей на территории северной Евразии по данным космического мониторинга // Исследование Земли из космоса. – 2016. – № 6. – С. 3-20.

2. Ершов Д.В., Сочилова Е.Н. Оценка прямых пирогенных эмиссий углерода в лесах России за 2020 год по данным дистанционного мониторинга // Вопросы лесной науки. – 2020. – Т. 3. – № 4. – С. 1-8.
3. Ивахов В.М. и др. Атмосферная концентрация диоксида углерода на станциях Тикси и Мыс Баранова в 2010-2017 гг // Метеорология и гидрология. – 2019. – № 4. – С. 110-121.
4. Shibistova O. et al. Seasonal and spatial variability in soil CO₂ efflux rates for a central Siberian Pinus sylvestris forest // Tellus B: Chemical and Physical Meteorology. – 2002. – Т. 54. – № 5. – С. 552-567.
5. Worden H.M. et al. New constraints on biogenic emissions using satellite-based estimates of carbon monoxide fluxes // Atmospheric Chemistry and Physics. – 2019. – Т. 19. – № 21. – С. 13569-13579.

ХИМИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ В СИСТЕМЕ «ПОЧВА – ЛАБАЗНИК ВЯЗОЛИСТНЫЙ (FILIPENDULA ULMARIA (L) MAXIM)» НА ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА ОСИННИКИ (КЕМЕРОВСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Масленникова К.С.

Научный руководитель старший преподаватель Е.В. Агеева

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

В качестве индикаторов состояния окружающей среды учеными используются лекарственные растения. Так, в геохимических исследованиях часто изучается лабазник вязолистный (*Filipendula Ulmaria (L) Maxim*), обладающий широким спектром фармакологического действия и издавна применяющийся в медицине [7]. Среди других видов он выделяется своей способностью накапливать большой комплекс химических элементов [5]. На территории Кемеровской области данное растение встречается повсеместно, наиболее распространено в поймах рек и ручьев.

Кемеровская область является богатым горнопромышленным регионом. Геохимические исследования, проводимые на этой территории, играют ключевую роль в понимании экологических и биогеохимических процессов, происходящих в компонентах природной среды. Разнообразие геологических формаций, наличие полезных ископаемых и специфические климатические условия создают уникальные геохимические условия, которые влияют на состав почв и растительности. Весьма значительная часть территории характеризуется техногенными процессами, связанными с разрабатываемым месторождением угля [3]. Территория г. Осинники была выбрана для проведения наших исследований по причине наличия в черте города Осинниковского каменноугольного месторождения. Город расположен на юге Кемеровской области, в 232 км от областного центра и в 25 км к юго-востоку от Новокузнецка, у впадения р. Кандалеп в р. Кондома.

Угольная отрасль является в городе тем стержнем, вокруг которого формируются все остальные звенья хозяйственного комплекса. В настоящее время в черте города работает угледобывающее предприятие – шахта «Осинниковская», добывающая угли марок Ж и КЖ, действуют ремонтно-механический завод и автобаза ОАО УК «Южкузбассуголь», Осинниковское пассажирское автотранспортное предприятие, предприятия пищевой промышленности [2]. Изучение геохимических особенностей компонентов окружающей среды на территории города позволяет не только выявить закономерности распределения химических элементов, но и оценить состояние экосистем, что особенно актуально в условиях активной промышленной эксплуатации.

Материалом для исследования была выбрана надземная часть лабазника вязолистного и верхний плодородный слой почвы с места отбора растения. Пробы отбирались летом 2023 г. в соответствии с ГОСТ 24027.0-80, ГОСТ 17.4.3.01-2017, ГОСТ 17.4.4.02-2017. Всего было изучено 46 проб с 23 точек отбора. Количественное содержание химических элементов определялось с помощью инструментального нейтронно-активационного анализа (ИНАА).

Для выявления геохимической специфики территории были посчитаны коэффициенты концентраций химических элементов для растений и почвы на территории г. Осинники относительно среднего содержания в данных объектах на территории Кемеровской области в ранее полученных исследованиях (Агеева, 2022). Специфическими элементами концентрирующимися в лабазнике вязолистном являются Th, Tb, Ba, Zn; в почве – Ta, Hf, Lu, Yb, Nd, Ce; в обоих объектах концентрируются Ca, Cr, La, Sb (табл.). Для почв такое распределение может быть обосновано геохимической специализацией углей, залегающих на территории г. Осинники, согласно данным Арбузова С.И. [1].

Таблица

Геохимические ряды химических элементов в компонентах природной среды

Компоненты природной среды	Кк относительно среднего по Кемеровской области (Агеева, 2022)
Лабазник вязолистный	Cr _{2,2} -Tb _{1,8} -Ca _{1,5} -Ba _{1,3} -Zn _{1,2} -Th _{1,2} -Sb _{1,2} -La _{1,2} -Sm _{1,0} -Br _{0,9} -Sc _{0,9} -Ta _{0,8} -Sr _{0,7} -As _{0,6} -Ce _{0,6} -Rb _{0,6} -Hf _{0,6} -Cs _{0,5} -Co _{0,5} -Fe _{0,5} -Yb _{0,4} -Eu _{0,4} -Lu _{0,3} -Na _{0,3} -U _{0,2}
Почва	Cr _{3,2} -Sb _{1,5} -Ca _{1,4} -Nd _{1,4} -Ta _{1,4} -La _{1,2} -Ce _{1,1} -Lu _{1,1} -Yb _{1,1} -Hf _{1,1} -Co _{1,0} -U _{1,0} -Tb _{1,0} -Cs _{1,0} -Sm _{1,0} -Na _{1,0} -Eu _{0,9} -Fe _{0,9} -Sc _{0,9} -Ba _{0,8} -Th _{0,8} -Rb _{0,7} -As _{0,7} -Br _{0,3} -Zn _{0,2}

По накапливающимся элементам ($K_k \geq 1$) были построены карты-схемы, отражающие распределение элементов в почве и растительности на территории города (рис. 1, 2).

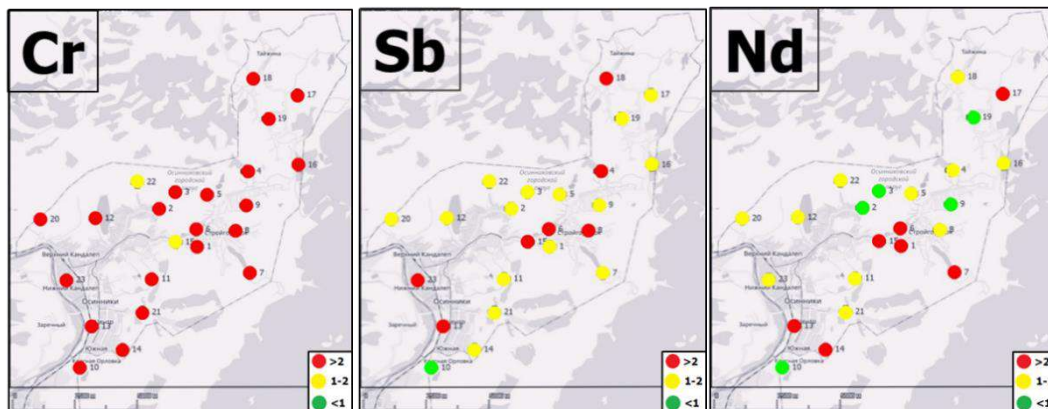


Рис. 1. Карты-схемы распределения элементов в почве (относительно среднего по Кемеровской области)

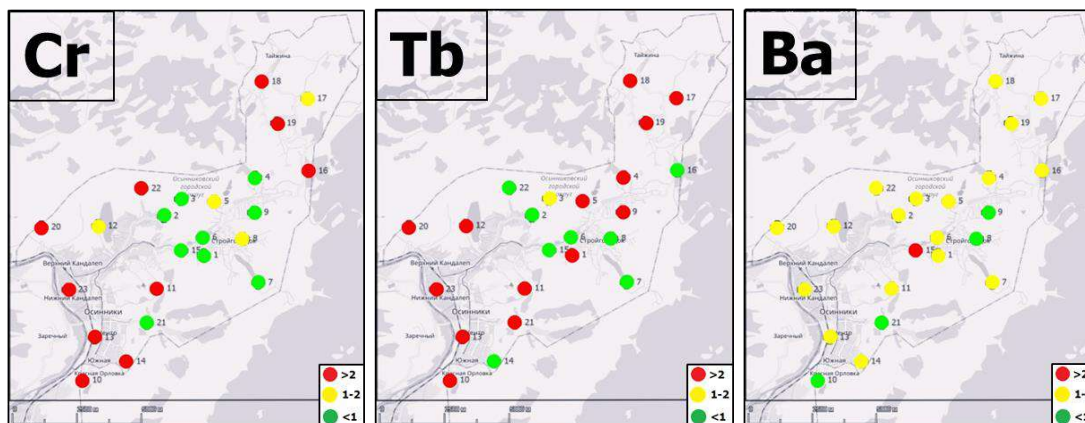


Рис. 2. Карты-схемы распределения элементов в лабазнике вязолистном (*Filipendula ulmaria* (L) Maxim) (относительно среднего по Кемеровской области)

Cr, Sb, Nd наиболее сильно концентрируются в почве, чем другие химические элементы. Sb и Nd сконцентрированы на территориях, где происходит или ранее происходила разработка угольного месторождения, а также вдоль железной дороги. При этом накопление Cr происходит почти по всей территории города. Среди исследуемых химических элементов Cr, Tb и Ba концентрируются в лабазнике вязолистном больше других. При этом Cr концентрируется в основном вдоль железнодорожных путей. Наибольшее содержание Tb отмечается рядом с железнодорожным полотном и на участках добычи угля, а Ba распределён почти равномерно по всей территории города. Для почв не отмечается сильное накопление Tb и Ba, и вероятно, на их концентрирование в лабазнике вязолистном в большей степени оказывает влияние пыление и привнос от промышленных предприятий. Это подтверждает наличие точек с высоким коэффициентом концентрации вдоль железных дорог, которые используются для перевозки угля.

Распределение химических элементов на территории г. Осинники неравномерно, что может быть вызвано техногенными процессами и геохимической специализацией углей. Также выявлены различные тенденции накопления химических элементов в почве и лабазнике вязолистном, что обусловлено избирательным накоплением элементов в растении и депонирующими свойствами почвы. Изучение распределения химических элементов в системе «почва – растение» позволяет предположить пути их привноса в компоненты природной среды. Таким образом, система «почва - лабазник вязолистный» может служить индикатором эколого-геохимических обстановок.

Литература

1. Арбузов С.И. Металлоносность углей Сибири // Известия Томского политехнического университета. – 2007. – Т. 311. – № 1. – С. 77-83.
2. Бабичева Е.В. Муниципальный архив г. Осинники // Отечественные архивы. – 2007. – № 4. – С. 24-32.
3. Богоявленский В.И. Природные и техногенные угрозы при освоении месторождений горючих ископаемых в криолитосфере Земли // Горная промышленность. – 2020. – № 1. – С. 97-118.
4. Бускунова Г.Г. Особенности содержания тяжёлых металлов в дикорастущих видах растений на фоновых территориях республики Башкортостан // Экология родного края: проблемы и пути их решения. – Киров, 2022. – С. 313-317.
5. Колесникова (Горбатюк) Е.А., Барановская Н.В., Черненькая Е.В. Региональные особенности элементного состава надземной части *Filipendula ulmaria* (Rosaceae) (юг Сибири) // Биогеохимия техногенеза и современные проблемы геохимической экологии: Труды IX Международной биогеохимической школы. – Барнаул, 2015. – Т. II. – С. 139-142.
6. Черненькая Е.В. Динамика изменения элементного состава природной среды по данным изучения гербарных и современных сборов растений юга Сибири: дис. ... канд. геол.-мин. Наук / Е. В. Черненькая. – Томск, 2016. – 262 с.

7. Agrawal M., Agrawal S.B. Effects of air pollution on plant diversity // Environmental Pollution and Plant Responses. – 2023. – p. 137-152.
8. Pongrac P., Tolrà R., Hajiboland R., Mikuš K.V., Kelemen M., Vavpetič P., Pelicon P., Barceló J.J., Regvar M., Poschenrieder C. Contrasting allocation of magnesium, calcium and manganese in leaves of tea (*Camellia sinensis* (L.) Kuntze) plants may explain their different extraction efficiency into tea // Food and Chemical Toxicology. – 2020. – V. 135. – P. 110974

ИЗУЧЕНИЕ ТЕПЛОВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ Г. ТОМСКА ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ LANDSAT 8-9

Минаков М.С., Аникина О.А.

Научные руководители ассистент Д.С. Крутенко, ассистент М.Ф. Крутенко
 Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Города и городские агломерации играют ключевую роль в увеличении концентрации парниковых газов в атмосфере и, кроме того, являются источниками теплового излучения. Большинство городских объектов состоит из материалов, которые активно поглощают солнечную радиацию, таких как асфальт, бетон, гранит и другие плотные материалы, что способствует накоплению тепловой энергии в городской среде и ее излучению в окружающее пространство [1]. Сосредоточение инфраструктурных объектов в городах приводит к изменению микроклимата и возникновению тепловых аномалий, формирующих городской «остров тепла» [1]. В условиях стремительного роста городов и развития промышленности изучение городских «островов тепла» становится важной задачей, поскольку температурно-влажностный режим оказывает значительное влияние на здоровье и благосостояние населения.

Целью данного исследования является картирование теплового острова города Томска и изучение его структуры по данным спутниковых снимков Landsat 8-9.

Для расчета поверхностных температур был применен метод, основанный на теории переноса излучения (Radiative Transfer Equation-Based Method) [4]. В результате проведенных вычислений была построена карта поверхностных температур в окрестностях города Томска (рис. 1).

Температура воздуха в г. Томске в этот день составляла +25 °С. Аномально высокие температуры, достигающие до +48 °С, фиксируются вблизи торговых центров, густонаселенных районов и промышленных объектов. Минимальные температуры наблюдаются в районе реки Томь и составляют около +14 °С (рис. 1).

Для изучения структуры теплового острова был проведен анализ средних температур для различных объектов городской инфраструктуры (рис. 2). Поверхностные температуры в районах над торговыми центрами варьируются в пределах от +37 °С до +41 °С. В то же время в парковых зонах фиксируются минимальные температурные значения, которые колеблются от +25 °С до +30 °С. В промышленных зонах и густонаселенных районах температурные показатели схожи с показателями над торговыми центрами, достигая значений от +37 до +40 °С и от +35 до +38 °С, соответственно. Вблизи главных улиц температура поверхности находится в диапазоне от +32 до +36 °С.

Величина теплового острова составляет в среднем 8 °С и локально доходит до 23 °С. Можно констатировать наличие значительных температурных аномалий в городе. Важно отметить, что тепловой стресс способствует распространению психоневрологических, сердечно-сосудистых и респираторных заболеваний [2, 3]. Наиболее уязвимыми группами населения являются пожилые люди, дети и хронически больные. Кроме того, попытка снижения температуры в помещениях с помощью охлаждающих систем приводит к росту энергопотребления. Следовательно, необходимо учитывать фактор теплового острова при городском планировании и применять комплекс мер для его снижения.

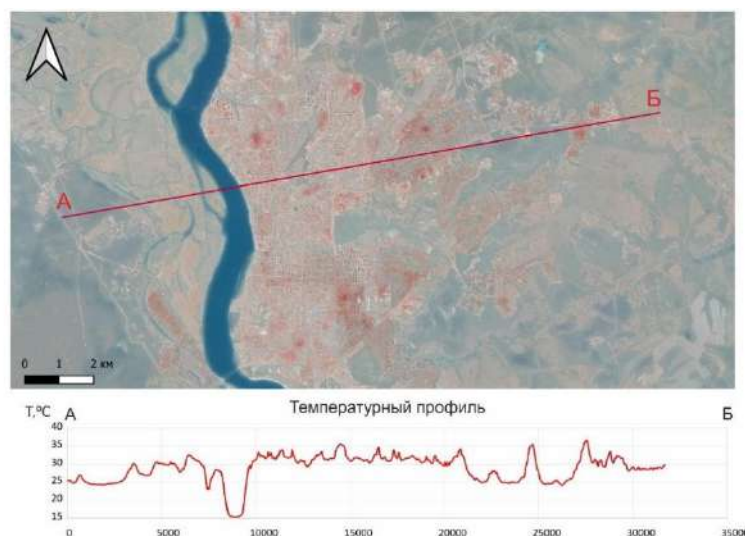


Рис. 1. Карта поверхностных температур в окрестностях города Томска и температурный профиль по линии АБ

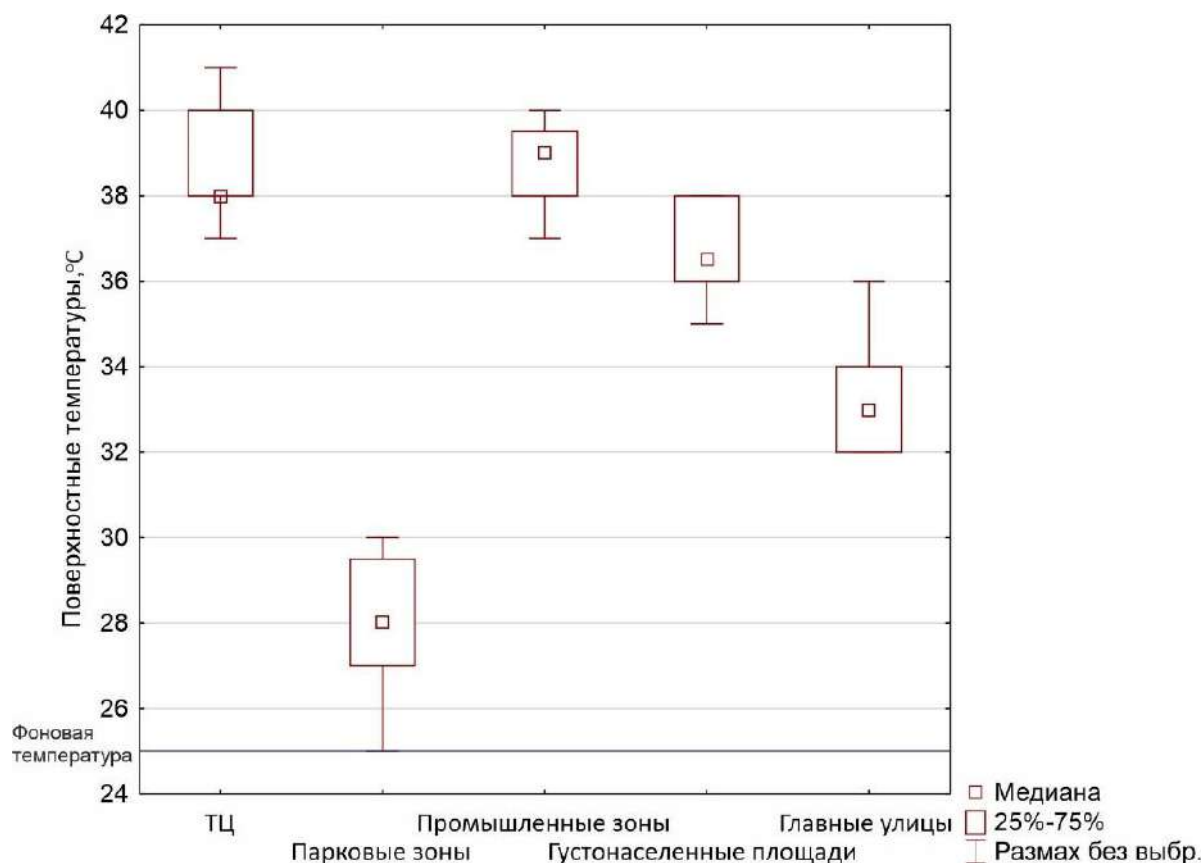


Рис. 2. Диаграмма размаха медианных значений поверхностных температур

Исследование выполнено в рамках Государственного задания РФ «Наука» (проект FSWW2023-0008)

Литература

1. Балдина Е.А. и др. Исследование городских островов тепла с помощью данных дистанционного зондирования в инфракрасном тепловом диапазоне // Земля из космоса: наиболее эффективные решения. – 2015. – № 5. – С. 38-42.
2. Giorgini P. et al. Climate changes and human health: a review of the effect of environmental stressors on cardiovascular diseases across epidemiology and biological mechanisms // Current pharmaceutical design. – 2017. – Т. 23. – № 22. – С. 3247-3261.
3. Gates A. et al. Short-term association between ambient temperature and homicide in South Africa: a case-crossover study // Environmental health. – 2019. – Т. 18. – С. 1-7.
4. Yu X., Guo X., Wu Z. Land surface temperature retrieval from Landsat 8 TIRS—Comparison between radiative transfer equation-based method, split window algorithm and single channel method // Remote sensing. – 2014. – Т. 6. – № 10. – С. 9829-9852.

КОМПЛЕКСНАЯ МОДИФИКАЦИЯ СОРБЕНТОВ МЕТОДАМИ УВЧ- И ХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТИ: ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ И СОРБЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Мозолева Е.Н., Брындина А.В., Монахова С.А.

Научный руководитель доцент Е.И. Лесик

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия

Углеродные сорбенты занимают особое место среди материалов, применяемых для очистки водных сред и почвы от загрязнений нефтью и нефтепродуктами. Эти сорбенты привлекательны благодаря высокой сорбции органических соединений и производству из возобновляемого сырья, что делает их универсальными и экологичными. Достоинством углеродных сорбентов является возможность их многократной регенерации после использования. Этот аспект особенно важен в условиях современного мира, где вопросы ресурсосбережения становятся приоритетными [1, 2].

Однако природные углеродные сорбенты часто обладают ограниченной сорбирующей способностью (не более 15 кг/кг) и низкой скоростью адсорбции [2], что ограничивает их применение в промышленных масштабах.

Модификация позволяет регулировать избирательную сорбционную емкость и гидрофильно-липофильные свойства сорбентов.

В работе использовались древесные опилки полученные при распиловке древесины лиственных пород, с размерами частиц не более 30 мм. Опилки перед исследованием сушили до влажности не более 3 масс. %, подвергали вибропомолу и фракционированию. Для исследования отбирались фракции 0,85–2 мм.

Обработка древесных опилок окислителями, такими как минеральные кислоты и щелочи, существенно изменяет их химический состав и физическую структуру. В качестве катализатора процесса модификации была использована соль аммония молибденовокислого (0,05–0,5 г/100 г). Гомогенизацию полученной суспензии проводили при перемешивании на лабораторной мешалке в течение 45 минут при температуре 25 ± 5 °С. После чего образцы обрабатывали ультразвуком на установке УЗТА-0,4/22-ОМ мощность 200 Вт, время обработки 2,5 мин. Пиролиз сырья проводился в муфельной печи марки SNOL22/1100 при температуре 400 °С.

По окончании комплексной модификации оценивались основные структурные характеристики полученных образцов (табл.).

Таблица

Результаты адсорбционной ёмкости и нефтеемкости полученных сорбентов

Содержание молибдата аммония в образце, г/100 г образца	Адсорбционная активность по йоду, мг-экв/г	Адсорбционная активность по МГ, мг/г	Нефтеемкость, г/г
0,05	11,63	275,0	4,60
0,1	14,65	343,6	6,63
0,25	13,47	345,0	8,58
0,5	12,89	353,8	10,62

На основе проведенных исследований было установлено, что повышение концентрации соли молибдена способствует увеличению адсорбционной активности сорбента. При увеличении содержания молибдата аммония наблюдается рост адсорбционной емкости по йоду на 3,02 мг-экв/г. Адсорбционная активность по метиленовому голубому также продемонстрировала положительные результаты, что указывает на улучшение текстурных характеристик сорбента под воздействием катализатора. Рост числа макропор связан с формированием новых активных центров на поверхности сорбента, улучшающих адсорбцию молекул метиленового голубого. Показатели нефтеемкости сорбента возрастают прямо пропорционально увеличению дозировки молибдата аммония. Модификация сорбента солью молибдена улучшает его эффективность при поглощении нефтепродуктов.

Таким образом, показатели нефтеемкости также растут пропорционально количеству добавляемой соли молибдена. Однако наилучшие показатели достигаются при использовании образца с концентрацией соли аммония 0,1 г, который демонстрирует оптимальные характеристики в плане адсорбции и нефтеемкости.

Литература

1. Калиничева О.А., Надеин В.Ф. Современные системы для анализа растворенных газов в трансформаторном масле маслонаполненного оборудования // Актуальные проблемы метрологического обеспечения научно-практической деятельности. – 2019. – С. 171-178.
2. Ротарь Е.Н. Получение и исследование углеродных сорбентов. – Красноярск, 2023. – С. 833-835.

ХИМИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ И ИХ МИКРОМИНЕРАЛЬНЫЕ ФАЗЫ В ОРГАНИЗМЕ МЛЕКОПИТАЮЩЕГО РЕСПУБЛИКИ АЛТАЙ

Носкова А.Д.

Научные руководители старший преподаватель Е.В. Перегудина, профессор Н.В. Барановская
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Изучение микроминеральных фаз в органах диких животных играет важную роль в понимании механизмов геофагии, а также изменений адаптивных функций под влиянием экологических факторов воздействия. Это исследование важно как для биологических, так и для экологических и медицинских наук. Дикие животные могут потреблять определённые типы почв, чтобы восполнить дефицит конкретных минеральных форм, необходимых для физиологических процессов. Анализ микроминеральных фаз позволяет выявить потенциальные риски биоаккумуляции токсичных элементов (например, свинца, кадмия) в органах животных, что важно для оценки экологической безопасности. Кроме того, геофагия может рассматриваться как адаптивный механизм выживания, связанный с особенностями минерального обмена. Анализ микроминеральных фаз помогает понять, как животные эволюционно приспособились к дефициту или избытку определённых элементов в окружающей среде. Распределение элементов в органах (печени, почках, костях) показывает, какие именно минералы критически важны для здоровья животных в дикой природе [3].

Отбор проб для изучения химического состава органов и тканей проводился в районе реки Малая Сумульта на территории Онгудайского района Республики Алтай в рамках гранта РНФ № 20-64-47021. Онгудайский район расположен в центральной части Республики Алтай и характеризуется сложным геологическим строением, обусловленным длительной геологической историей, включающей тектонические движения, магматизм и метаморфизм. Рельеф района горный с чередованием высоких хребтов и межгорных впадин. Важные геоморфологические процессы включают эрозионные процессы, обусловленные активной деятельностью рек,

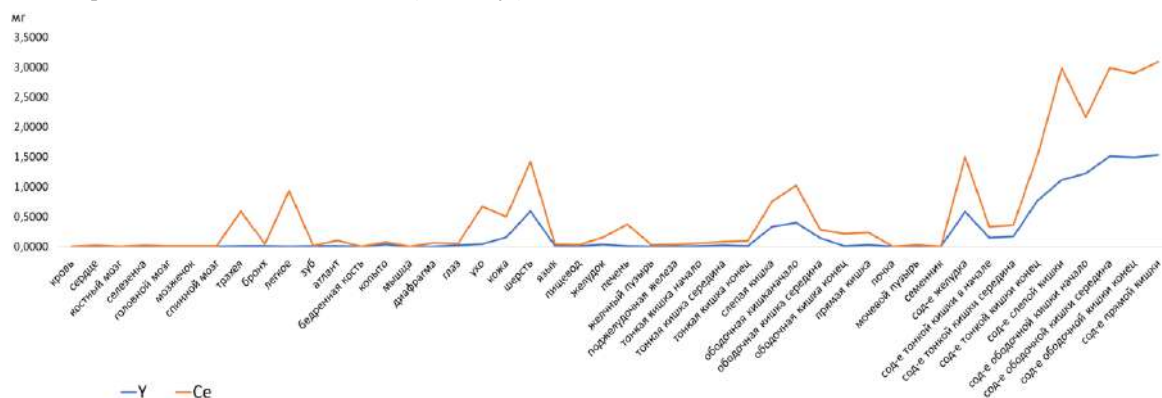
современную тектоническую активность, а также гляциальные и перигляциальные процессы. В районах выходов материнских горных пород с маломощным почвенным слоем наблюдаются такие минеральные комплексы как кудюриты – места, где животные активно поедают грунт в качестве источников кальция и других макро- и микроэлементов. По характеру геохимических полей изучаемая территория относится к сложным районам. Геохимические типы структурно-формационных комплексов разнообразны. Однако на прилегающей территории наблюдаются локальные аномалии литофильных элементов, в частности месторождения Mo-W руд, сопровождающиеся накоплением редкоземельных элементов как в грунтах, так и в растительных кормах. Гранитоидные массивы в районе Онгудая, такие как Онгудайский и Чуйский, являются основными геохимическими резервуарами редкоземельных элементов [2, 4].

Для изучения элементного состава были использованы органы и ткани дикого кабана (*Sus scrofa*), добытого охотниками. В научных целях было отобрано 46 органов и тканей – масса каждого не более 100 г, отбор производился Середкиным И.В. (ТИГ ДВО РАН) и Барановской Н.В. (ТПУ). Пробоподготовка заключалась в высушивании проб до постоянной массы при температуре не более 105 °С (Макаревич Р.А., ТИГ ДВО РАН). Ареал обитания дикого кабана может достигать площади до нескольких десятков км². Основу рациона составляют растительные корма, но также дикий кабан может питаться и животной пищей. Таким образом, кабан имеет типичную для свиней пищеварительную систему, приспособленную к перевариванию как растительной, так и животной пищи. Характерными чертами является однокамерный желудок смешанного типа и длинный кишечник, состоящий из 4 частей (тонкая, слепая, ободочная и прямая кишка) [1]. Содержимое желудка и кишечника добытого кабана представлено пищевыми остатками и глинами.

Количественный элементный состав определялся методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS) (аналитик – Куровская В.В., ТПУ). Изучение элементного и минерального состава частиц проводилось с помощью сканирующего электронного микроскопа (SEM) Hitachi S-3400N с приставкой Bruker XFlash 5010 с разрешением 129 eV для проведения рентгеноспектрального анализа (под руководством Ильенка С.С., ТПУ).

В результате исследования методом электронной микроскопии в ткани начала ободочной кишки были обнаружены микроминеральные фазы Y, и редкоземельных элементов Ho, Tm, Er, Dy. В содержимом начала ободочной кишки была обнаружена частица, основными составляющими которой были Y, Dy и Gd – редкоземельный фосфатный минерал, являющийся источником иттрия и тяжелых лантаноидных металлов. Кроме того, в содержимом начала ободочной кишки найдена микроминеральная фаза, в состав которой входят Ce, La, Nd, Gd, Pr.

На рисунке показано содержание Ce и Y в органах дикого кабана (кожа, шерсть, желудок, кишечник) и в содержимом его желудка и кишечника. Величина концентрации элементов зависит от рассматриваемых проб. Так, наибольшее содержание наблюдается в содержимом желудка и кишечника, при этом содержимое тонкой кишки не выделяется повышенными концентрациями. Умеренное содержание наблюдается в шерсти, коже, слепой кишке и в начале ободочной кишки. Полученные данные хорошо демонстрируют, что химические элементы в организме млекопитающего накапливаются избирательно в определённых органах и тканях. Это ярко показывает концентрация Y и Ce в органах и тканях дикого кабана (*Sus scrofa*).



ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ЛИСТЬЕВ ТОПОЛЯ НА ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА ГОРНЯК (АЛТАЙСКИЙ КРАЙ)

Одерова Е.Е., Гончаров Г.А.

Научный руководитель доцент Б.Р. Соктоев

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Среди методов биогеохимического мониторинга особую значимость имеет анализ содержания химических элементов в биологических объектах, поскольку он отражает их реакцию на воздействие загрязняющих веществ и позволяет оценить биогеохимические последствия техногенного влияния. В качестве биоиндикаторов загрязнения, в частности тяжелыми металлами, широко используются различные виды растений и их органы.

Листья растений представляют собой информативный инструмент оценки состояния окружающей среды, особенно на урбанизированных территориях. Листовая пластинка, обладая широкой поверхностью и физиологической активностью, эффективно аккумулирует ионные и аэрозольные формы загрязняющих веществ, поступающих из атмосферы, в том числе с промышленными выбросами. Вещественный анализ листового материала позволяет не только оценить уровень загрязнения воздушной среды, но и выявить характер воздействия отдельных химических элементов на живые организмы [1].

Древесные растения выполняют функцию природного фильтра, способствуя извлечению и аккумуляции различных элементов из окружающей среды в своих тканях. Долговременный анализ состава древесных тканей может служить индикатором кумулятивного загрязнения и использоваться для ретроспективного мониторинга состояния экосистем [3].

Алтайский горно-обогатительный комбинат (АГОК) функционировал в период с 1942 по 1994 год и специализировался на добыче и обогащении полиметаллических руд ряда месторождений (Золотушинское, Ново-Золотушинское, Зареченское, Среднее, Таловское, Степное, Рубцовское, Корбалихинское, Юбилейное и другие), а также шлаков бывших Локтевского и Змеиногорского заводов [4]. Конечная продукция АГОК включала свинцовый, цинковый, медный концентраты. После закрытия завода на территории города остались два некультивируемых хвостохранилища (Старое и Новое), общей площадью 1 км² и объемом размещенных отходов в 11 млн. м³ [7].

Цель работы заключается в изучении содержания и распределении химических элементов в листьях тополя (*Populus balsamifera* L.) на территории города Горняк.

Отбор проб листьев проводился в августе 2023 г. Опробование проходило как в черте жилых районов города, так и за его пределами (территория малого хвостохранилища). Всего было отобрано 11 проб. Отбор проб листьев проводился методом средней пробы в нижней части кроны с внешней ее стороны по окружности в конце основного периода вегетации (август-сентябрь). С использованием метода инструментального нейтронно-активационного анализа (ИНАА) в ядерно-геохимической лаборатории Международного интонационного научно-образовательного центра «Урановая геология» им. Л. П. Рихванова на базе исследовательского ядерного реактора ИРТ-Т ТПУ было выявлено содержание 28 химических элементов.

Анализ и геохимическая специализация проб была выявлена на основе расчетов:

- коэффициента концентрации (K_c)

$$K_c = \frac{C}{C_{\phi}},$$

где C – содержание химического элемента в пробе, C_{ϕ} – медианное содержание химического элемента в листьях тополя бальзамического для городов азиатской части России и Казахстана [8];

- геохимических рядов, построенных по уменьшению K_c от максимального к минимальному, для обсуждения взяты значения больше 1.

Геохимическими особенностями листьев тополя на территории города Горняк являются повышенные концентрации следующих элементов: As ($K_c = 3,8$), Ca (2,8), Zn (2,2), Tb (2,1) и Co (2,0). В отличие от остальных изученных элементов, указанные элементы характеризуются $K_c > 2$, что может свидетельствовать о влиянии геологических факторов, либо о значительном техногенном загрязнении среды. Наиболее вероятным источником избыточного поступления некоторых химических элементов (As, Zn) являются хвостохранилища, с поверхности которых осуществляется эоловый и водный перенос мелкодисперсных частиц, обогащенных потенциально токсичными компонентами. Листья тополя, рассматриваемые в качестве природного геохимического индикатора, способны аккумулировать широкий спектр химических элементов как из почвы, так и за счет осаждения атмосферных аэрозолей и пылевых частиц [8].

Биогеохимическими индикаторами техногенного воздействия горнодобывающих и металлургических предприятий на Российско-Казахстанской трансграничной территории являются Zn, As, Sb, Hg и U, которые формируют региональный конформный биогеохимический ореол, обусловленный атмосферными выпадениями, связанными с промышленными выбросами [8].

Повышенные концентрации Ca в растительности исследуемой территории могут быть обусловлены комплексом влияния как природного, так и антропогенного фактора. Природные причины заключаются в особенностях почвообразующих пород региона. В Алтайском крае преобладают выщелоченные черноземы и серые лесные почвы, богатые кальцием, что способствует его накоплению в растениях. Также на территории города действует Локтевский известковый завод, являющийся крупным промышленным объектом региона. Завод использует пять печей для обжига известняков, работающих на твердом топливе, и ежегодно производит более 100 тыс. тонн известняков, значительная часть которой используется в строительстве, металлургии, химической промышленности и сельском хозяйстве.

Рассматриваемая территория относится к Кулундинской биогеохимической бромной области. Этот факт указывает на то, что источником аномальных содержаний Br является природный фактор – рассеивание брома в приземном слое атмосферы под действием климатических условий. В г. Горняк выявлена значимая парная положительная корреляционная связь Br, Na и U [8]. Поступление U в листья, вероятно, связано с корневым минеральным питанием.

Таким образом, для листьев тополя на территории города Горняк характерна геохимическая специализация, обусловленная влиянием как природных, так и антропогенных факторов. В качестве ведущего антропогенного фактора выступают хвостохранилища Алтайского ГОКа, которые остались нерекультивированными после закрытия предприятия. Кроме того, существенный вклад вносят особенности металлогении территории и почвенного покрова.

Литература

1. Aničić M. et al. Trace elements accumulation and temporal trends in leaves of urban deciduous trees (*Aesculus hippocastanum* and *Tilia* spp.) // *Ecological Indicators*. – 2011. – Т. 11. – № 3. – С. 824-830.
2. Hong Y.S., Song K.H., Chung J.Y. Health effects of chronic arsenic exposure // *Journal of preventive medicine and public health*. – 2014. – Т. 47. – № 5. – С. 245.
3. Kolon K. et al. *Viscum album* versus host (*Sorbus aucuparia*) as bioindicators of urban areas with various levels of pollution // *Journal of Environmental Science and Health, Part A*. – 2013. – Т. 48. – № 2. – С. 205-210.
4. Гаськов И. В. Особенности развития колчеданных рудно-магматических систем в островодужных обстановках Рудного Алтая и Южного Урала // *Литосфера*. – 2015. – № 2. – С. 17-39.
5. Голик В.И., Разоренов Ю.И., Масленников С.А. Охрана природной геологической среды утилизацией хвостов обогащения руд // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. – 2015. – Т. 326. – № 6. – С. 6-15.
6. Горбачев И.В. Влияние хвостохранилищ Алтайского горно-обогатительного комбината (АГОКа) на окружающую среду / И.В. Горбачев, С.В. Бабошкина // *Ползуновский вестник*. – 2005. – Т. 4. – С. 179-182.
7. Горбачев И.В., Бабошкина С.В. Импактный биогеохимический мониторинг огородных экосистем города Горняк // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. – 2013. – № 10. – С. 42-47.
8. Юсупов Д.В. Методология биогеохимической индикации урбанизированных и горнопромышленных территорий на основе анализа древесной растительности: диссертация на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук: спец. 1.6. 21: дис. – 2022.

МЕТОДИКА ЛАНДШАФТНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ В ЗОНЕ МНОГОЛЕТНЕМЁРЗЛЫХ ПОРОД С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИС

Осипова С.М.^{1,2}, Осипов М.Е.¹, Кирсанова Н.В.¹

Научный руководитель доцент С.В. Лойко²

¹Томский научно-исследовательский и проектный институт нефти и газа, г. Томск, Россия

²Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия

Ландшафтный анализ территории – это оценка особенностей ландшафта с функциональных, природоохранных, художественно-градостроительных и экономических позиций [4]. Ландшафтный анализ направлен на изучение свойств ландшафтов, прогнозирование его возможных изменений и разработку рекомендаций по оптимальному обустройству ландшафта. Однако с точки зрения инженерно-экологических изысканий эколого-ландшафтные исследования выполняют также для уточнения границ природно-территориальных комплексов, выделения зон и оценки степени антропогенной нарушенности территории, а также для составления прогноза изменений ландшафтной структуры в связи со строительством проектируемого объекта [3].

Размещение нефтегазовой инфраструктуры в зоне распространения многолетнемёрзлых пород накладывает на проектировщиков повышенную ответственность в связи с необходимостью проведения работ на заведомо неустойчивых ландшафтах. По разным источникам процент деформированных зданий и сооружений в Арктической зоне варьируется от 40 до 60 % [5].

Инженерные изыскания часто проводятся в осенне-зимний период, что обусловлено лучшей проходимостью труднодоступных северных территорий. По этой причине инженер-геолог при рекогносцировочном обследовании может пропустить участки талых грунтов, скрытых под снеговой толщей. Это определяет необходимость качественного ландшафтно-экологического анализа с целью выявления потенциально опасных для строительства участков на предполевом этапе.

Цель разработки методики – предотвращение потенциальных ошибок при строительстве нефтегазовой инфраструктуры в зоне многолетнемёрзлых пород и минимизация нефтеразливов из-за деформации сооружений. В задачи исследования входило разделение территории на благоприятные и неблагоприятные участки для строительства на предпроектном этапе с точки зрения механической ландшафтной устойчивости.

Основное отличие разработанной методики в том, что помимо базового определения границ ландшафтов и их морфоструктурных единиц предлагается идентифицировать отдельные экзогенные геологические процессы на исследуемой территории. Делать это возможно путём дешифрирования космических снимков с помощью геоботанических индикаторов.

Каждый экзогенный геологический процесс имеет определённое положение в рельефе. Однако «считать» информацию о формах микро- и нанорельефа, под которыми могут находиться такие опасные для строительства

элементы, как талики, с космических снимков бывает невозможно, а данные с беспилотных летательных аппаратов появляются только при непосредственном проведении инженерных изысканий.

Поскольку рельеф определяет тип растительных сообществ, нами было установлено, что для каждого экзогенного-геологического процесса характерны свои геоботанические комплексы, которые всегда видны с космических снимков разного разрешения.

Для минимизации ошибок при идентификации экзогенных геологических процессов была разработана комплексная база дешифровочных признаков, фрагмент которой приводим в таблице ниже.

Таблица

Фрагмент таблицы дешифровочных признаков

Тип экзогенных геологических процессов (ЭГП)	Урочище	Компоненты идентификации			
		Растительность	Почва	Рельеф	Дешифровочные признаки
Криогенное пучение	Участок хасырея с травяно-мохово-кустарниковыми сообществами на торфяно-глеезёмах мерзлотных	Кустарниково-моховые и кустарничково-лишайниковые тундры с множеством озёр в сочетании с кустарничково-осоково-сфагновыми и гипновыми мочажинами и болототравно-сфагновыми топиями	Торфяно-глеезёмы мерзлотные	Бугры высотой до 3 метров в пределах частично или полностью спущенного озёра.	Круглые или овальные пятна, более светлые, чем окружающая поверхность озёрной котловины.

Дешифрирование экзогенных геологических процессов, их приуроченность к определённому рельефу и типу местности позволяют провести районирование территории по степени устойчивости к техногенной нагрузке и, соответственно, по сложности условий строительного освоения.

Таким образом, инженер-проектировщик на этапе трассирования получает обработанные материалы ландшафтного анализа в виде карты, разделённой на благоприятные и неблагоприятные ландшафты, для проектирования с учётом техногенной нагрузки. Кроме того, созданная по данной методике карта содержит прогнозную составляющую, обозначенную как «относительно устойчивые ландшафты». В эту категорию попадают те ландшафты, которые при изменении минимального количества компонентов, влияющих на их устойчивость, могут перейти в потенциально опасные ландшафты для строительства. Например, трассирование автодорог в болотистой местности оказывает влияние на направление стока. Таким образом, расположенные ранее кустовые площадки на относительно плоских поверхностях могут начать заболачиваться.

Следует отметить, что ландшафт представляет собой генетически однородный природно-территориальный комплекс, в состав которого включены рельеф, почва, растительность и другие компоненты. Поэтому помимо предварительного дешифрирования выбранные нами признаки идентификации экзогенных геологических процессов подтверждены на полевом этапе исследований с заложением пробных площадей, почвенных прикопок, составлением геоботанических описаний территории и сопоставление их с результатами ДЗЗ, проанализированных до поездки в поле [1, 2].

Проведённый анализ доказывает, что дешифровочные индикаторы экзогенных геологических процессов достоверны на уровне репрезентативной выборки.

Литература

1. Дюкарев А.Г., Пологова Н.Н., Герасько Л.И. Методические рекомендации по морфологическому описанию почв // А.Г. Дюкарев, Н.Н. Пологова, Л.Н. Герасько - Томск: Изд-во ИОА СО РАН. – 1999.
2. Программа и методика биогеоценотических исследований [Текст]: учеб. пособие / Под ред. Дылиса Н.В. – М.: Наука, 1974. – 403 с.
3. СП 502.1325800.2021. Инженерно-экологические изыскания для строительства. Общие правила производства работ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/608706538>
4. Федосеева О.С. Ландшафтный анализ приречных территорий: на примере города Москвы [Текст]: дис. канд. с-х наук / Федосеева Ольга Сергеевна. – Москва, 2013. – 100 с.
5. Шац М.М. Эколого-геокриологическая специфика при недропользовании на Севере Сибири // Жизнь Земли. – 2020. – Т. 42. – № 1. – С. 24-37.

АЭРОТЕХНОГЕННАЯ НАГРУЗКА НА ТЕРРИТОРИЮ Г. НОВОКУЗНЕЦКА: ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ

Панфилов В.Д., Гашникова А.О.

Научный руководитель профессор А.В. Таловская

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Новокузнецк является крупнейшим промышленным центром Кузбасса, который сталкивается с серьёзными экологическими проблемами, обусловленными концентрацией горнодобывающей и металлургической промышленности [4]. Структурно город поделен на шесть административных районов, каждый из которых уникален своей инфраструктурой и специализированными промышленными предприятиями.

В Заводском районе сосредоточены крупнейшие производственные объекты, включая Западно-Сибирский металлургический комбинат (ЕВРАЗ ЗСМК) и центры крупных российских горнодобывающих компаний (ТопПром, Распадская, Новая Горная и др.). В Кузнецком районе сосредоточена металлургическая и энергетическая промышленность: здесь расположены алюминиевый завод (РУСАЛ «НКАЗ»), Кузнецкие ферросплавы и угольная ТЭЦ. В центральном районе города также выражена промышленная специфика. Основными источниками аэротехногенной нагрузки выступают предприятия в сфере металлургической промышленности, переработки вторсырья, а также производства металлоконструкций (НМК, НЭМЗ, Сибметалл и другие). В Орджоникидзевском районе экологическая обстановка определяется влиянием предприятиями угольной отрасли и теплоэнергетики, тогда как в Куйбышевском районе транспортным сектором, включая автомобильные и железнодорожные перевозки, а также угольными котельными. Новоильинский район характеризуется минимальным уровнем локальных выбросов благодаря своему территориальному расположению, отсутствию крупных производств и преобладанию жилой застройки [8].

Согласно докладу Росприроднадзора за 2023 год об охране атмосферного воздуха Новокузнецк занимает 3 место в России по суммарным выбросам загрязняющих веществ в атмосферу [2]. Объем ежегодных выбросов превышает 230 тысяч тонн.

По данным из Доклада «О состоянии окружающей среды Кемеровской области-Кузбасса за 2023 год» основными источниками загрязнения города являются крупные промышленные предприятия, такие как металлургический комплекс «ЕВРАЗ Западно-Сибирский металлургический комбинат», угольные теплоэлектростанции и городской автотранспорт. Экологическое состояние города характеризуется высокими показателями содержания особо опасных веществ в воздухе. Концентрация бенз(а)пирена превышает ПДК_{с.с.} до 11,2 раз, а содержание мелких твердых частиц РМ_{2,5} достигает двукратного превышения норм. Хотя общий объем выбросов в 2023 г. снизился на 11,5 % по сравнению с уровнем с 2017 г., риск сохраняется из-за неблагоприятного распределения воздушных масс и высокой плотности промышленности. Фоновые уровни загрязнения в жилых районах остаются значительными благодаря распространению загрязняющих веществ ветром с территорий крупных предприятий. Показатели концентрации вредных веществ варьируются между 1,2 и 3,4 ПДК_{с.с.}, демонстрируя устойчивый характер проблемы [3].

Для оценки состояния атмосферного воздуха выполнялись исследования загрязнения снегового покрова на территории Новокузнецка местными университетами и научно-исследовательскими организациями (табл.). Основное внимание уделялось оценке аэротехногенной нагрузки через анализ химического состава снегового покрова, включая мониторинг накопления тяжёлых металлов, взвешенных частиц и органических загрязнителей вблизи промышленных зон. Учёные также изучали сезонную динамику загрязнения, связь между составом снега и выбросами металлургических предприятий, а также влияние талых вод на экосистемы городских и прилегающих территорий.

Таблица

Обзор работ по исследованию снегового покрова на территории г. Новокузнецка с 2014 г. по 2021 г.

Автор (год)	Название работы	Основные результаты
Журавлева Н.В., Потокина Р.Р., Исмаилов З.Р., Хабибулина Е.Р., (2014) [5]	Загрязнение снегового покрова полициклическими углеводородами и токсичными элементами на примере г. Новокузнецка	Исследование выявило значительное загрязнение снега Новокузнецка канцерогенными ПАУ (до 72 ПДК по бенз(а)пирену) и токсичными металлами (Al, Cu, Mn, Fe), причем 90 % взвешенных частиц имеют размер до 35,5 мкм, что создает риски для экосистем и здоровья населения
Ярославцева Т.В., Рапута В.Ф. (2017) [9]	Восстановление полей длительного загрязнения атмосферного воздуха промышленного города по спутниковым наблюдениям состояния снежного покрова	Корреляционный анализ спутниковых снимков и наземных данных подтвердил устойчивую связь между оттенками серого цвета снежного покрова, концентрацией взвешенных веществ в атмосфере и уровнем загрязнения снега, что позволяет использовать дистанционные методы для мониторинга пылевого загрязнения промышленных городов
Вострикова А.А. (2020) [1]	Уровень пылевого загрязнения снегового покрова в зоне воздействия металлургического комбината (г. Новокузнецк)	Исследование снежного покрова в зоне влияния Западно-Сибирского металлургического комбината выявило превышение пылевой нагрузки в 23-51 раз по сравнению с фоновыми значениями, причем основными техногенными компонентами являются металлургические шлаки, микросферы и частицы металлообработки
Захарова М.А., Водолеев А.С., Андреева О.С., Домнин К.И. (2021) [6]	Экомониторинг санитарно-защитной зоны металлургического предприятия: снежный и почвенный покровы	Экомониторинг санитарно-защитной зоны АО «ЕВРАЗ ЗСМК» показал, что загрязнение снежного покрова тяжелыми металлами и бенз(а)пиреном не превышает ПДК _{р.х.} , за исключением локального превышения бенз(а)пирена на одной из восьми пробных площадок

Исследование, выполненное П.В. Климовым совместно с учеными Кузбасского гуманитарно-педагогического института, показало, что крупнейший промышленный центр Кузбасса сталкивается с критическим загрязнением атмосферы из-за выбросов. Основные загрязнители в воздухе – взвешенные частицы (до 2,05 ПДК_{с.с.}), диоксид азота (1,59 ПДК_{с.с.}), формальдегид (5,87 ПДК_{с.с.}) и фтористый водород (1,4 ПДК_{с.с.}) – превышают нормы во всех районах города. Географическое расположение в Кузнецкой котловине, окружённой горными массивами, усугубляет ситуацию: частые штили (до 18 %), температурные инверсии и слабые ветры препятствуют рассеиванию выбросов, формируя устойчивые смоги. Зимой концентрации сажи, диоксида серы и бенз(а)пирена возрастают в 2–6 раз из-за застоя воздуха и работы угольных котельных, тогда как летом фотохимические реакции увеличивают уровень формальдегида и фенола. Предприятия чёрной металлургии ответственны за 48 % взвешенных частиц и 63 % выбросов SO₂, а транспорт – за 56 % NO₂. Несмотря на снижение выбросов на 11,5 % за последние годы, фоновое загрязнение жилых районов (например, Новоильинского) остаётся высоким из-за ветрового переноса загрязняющих веществ [7].

В рамках экологической оценки снегового покрова г. Новокузнецка, проведенной Н.В. Журавлевой с соавторами при участии Государственного центра санитарно-эпидемиологического надзора, отобраны пробы снегового покрова в виде кернов на 8 точках, включая промышленные зоны, магистрали и фоновые территории. Лабораторный анализ (ВЭЖХ, атомно-эмиссионная спектроскопия) выявил критическое загрязнение бенз(а)пиреном, концентрации которого вблизи алюминиевого завода превышали ПДК в 72 раза. Тяжёлые металлы (Al, Cu, Fe, Mn) в промышленных зонах превышали нормы в 2–5 раз. Установлено, что 60–90 % высокотоксичных ПАУ адсорбируются на взвешенных частицах размером до 35,5 мкм, создавая риски для здоровья через загрязнение почв и вод. Основными источниками выбросов признаны предприятия чёрной металлургии, алюминиевого производства и автотранспорт. Результаты подтверждают необходимость усиления контроля за промышленными выбросами и мониторинга мелкодисперсных частиц для снижения канцерогенной нагрузки на население [5].

Водолевым А.С. совместно с учеными Сибирского государственного индустриального университета был проведен экомониторинг санитарно-защитной зоны (СЗЗ) ЕВРАЗ ЗСМК. В результате выявлено, что снежный и почвенный покровы в радиусе 1–5 км от предприятия соответствуют нормативным показателям по большинству показателей. Содержание тяжёлых металлов (V, Mn, Ni, Cu, Zn, Pb) в почвогрунтах не превышает ПДК, а pH находится в диапазоне 6,3–7,4, что исключает техногенное закисление. В снежном покрове сухой остаток талых вод оказался в 7–8 раз ниже ПДК, а концентрации хлоридов и сульфатов – в пределах нормы. Исключение – площадь № 7, где уровень бенз(а)пирена в почве достиг 0,0197 мг/кг (при ПДК 0,02 мг/кг). Суммарный показатель загрязнения (Z_с) для четырёх из восьми пробных зон СЗЗ классифицирован как допустимый (Z_с < 16), а для остальных – умеренно опасный (Z_с = 16–32), что связано с локальным накоплением ванадия и марганца. Программа мониторинга включала анализ снега и почвенных проб на глубине 0–20 см, что подтвердило эффективность озеленения (50 % площади СЗЗ) и природоохранных мероприятий по снижению выбросов [6].

Таким образом, на основе литературного обзора можно сделать выводы, что исследования снегового покрова в Новокузнецке были сосредоточены на изучении жидкой фазы в отдельных районах города и были ограничены по спектру изучаемых элементов. При этом мало внимания уделялось изучению твердого осадка снега, который и содержит частицы, осевшие из воздуха в снеговой покров. В этой связи необходимо провести комплексные площадные эколого-геохимические исследования на территории Новокузнецка с использованием снегового покрова.

Литература

1. Вострикова А.А. Уровень пылевого загрязнения снегового покрова в зоне воздействия металлургического комбината (г. Новокузнецк) // Проблемы геологии и освоения недр: труды XXIV Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых учёных, посвященного 75-летию Победы в Великой Отечественной войне, Томск, 6-10 апреля 2020 г. Т. 1. – Томск, 2020. – 2020. – Т. 1. – С. 569-570.
2. Доклад «О деятельности Федеральной службы по надзору в сфере природопользования в 2023 году» / Федеральная служба по надзору в сфере природопользования. – Москва, 2024. – 151 с.
3. Доклад «О состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области - Кузбасса в 2023 году» / Администрация Правительства Кузбасса, Министерство природных ресурсов и экологии Кузбасса. – Кемерово, 2024. – 506 с.
4. Доклад «О состоянии окружающей среды города Новокузнецка за 2023 год» / Комитет охраны окружающей среды и природных ресурсов администрации города Новокузнецка. – Новокузнецк, 2024. – 84 с.
5. Журавлева Н.В. и др. Загрязнение снегового покрова полициклическими ароматическими углеводородами и токсичными элементами на примере г. Новокузнецка // Химия в интересах устойчивого развития. – 2014. – Т. 22. – № 5. – С. 445-454.
6. Захарова М.А. и др. Экомониторинг санитарно-защитной зоны металлургического предприятия: снежный и почвенный покровы // Известия высших учебных заведений. Черная Металлургия. – 2023. – Т. 66. – № 5. – С. 538-543.
7. Климов П.В. Оценка антропогенного загрязнения атмосферного воздуха г. Новокузнецка – Текст: электронный / П.В. Климов, В.Д. Суржиков, Д.В. Суржиков, В.В. Большаков // Вестник Кемеровского государственного университета. – 2011. – № 2(46). – С. 190-194.
8. Сайт администрации города Новокузнецк [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.admnkz.info/>.
9. Ярославцева Т.В. Восстановление полей длительного загрязнения атмосферного воздуха промышленного города по спутниковым наблюдениям состояния снежного покрова – Текст: электронный / Т.В. Ярославцева, В.Ф. Рапута // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2017. XIII Междунар. науч. конгр., 17–21 апреля 2017 г., Новосибирск: Междунар. науч. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология»: сб. материалов в 2 т. Т. 2. – Новосибирск: СГУГиТ, 2017. – С. 13-17.

**К ВОПРОСУ О КОНЦЕНТРАЦИИ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ОРГАНИЗМАХ
МЛЕКОПИТАЮЩИХ РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ)**

Потоскуев А.А.

Научный. руководитель профессор Н.В. Барановская

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Все животные в процессе своей жизни накапливают различные химические элементы в своем организме. Известно, что состав и количество накопленных элементов в организме животного могут значительно различаться, даже для представителей одного вида. Кроме того, повышенное содержание определенных химических элементов может оказывать токсическое воздействие на организм, тогда как дефицит других элементов также ведет к нарушениям в нормальной работе организма [5].

Принято выделять три основные группы факторов, влияющих на накопление химических элементов в организме животного, к ним относятся особенности местообитания и питания животного, а также особенности аккумуляции некоторых элементов в органах и тканях, специфичные для каждого конкретного животного. Из группы факторов местообитания особый интерес представляет взаимосвязь геохимических особенностей ландшафта, на котором обитает животное, с накоплением в его организме специфических химических элементов. Данный интерес вызван наличием у животных феномена «геофагии» – избирательного поедания различных земляных веществ, характерных для определенных природных ландшафтов [4]. Подробным изучением данного феномена ученые занялись ещё в начале 20 века. Тогда же было обнаружено, что в дикой природе животные могут выбирать определенные места, в которых содержание минеральных веществ выше и которые периодически посещаются животными для поедания почвы. Со временем под воздействием животных подобные места превращаются в особый тип ландшафта, называемый «зверовой солонец» или «кудюры» [4]. По признаку наличия кудюров можно судить о неравномерном содержании минеральных элементов в почве исследуемого ландшафта, что является одним из факторов стресса для животных, обитающих на нём.

Наиболее характерна кудюрная форма литофагии для растительноядных млекопитающих, что обусловлено химическим составом растительности на территории обитания животного. Если геохимический состав почвы территории беден важными минеральными элементами, они не будут накапливаться в растительности, вследствие чего животные будут вынуждены прибегать к геофагии. Плотноядные животные кудюры посещают значительно реже, так как в силу типа питания химический состав в их организме более стабилен и постоянен. Дополнительным свидетельством служит возрастающая частота посещения кудюров растительноядными в весенний сезон, когда происходит смена кормовой базы и повышается дисбаланс минеральных веществ в организме.

Собранные данные позволяют провести связь, между проявлениями геофагии у животных и геохимическим составом почвы на территории обитания, а конкретно с накоплением химических элементов в организме животного, получаемых из почвы. Однако, до сих пор остается неизученным, дефицит каких именно веществ заставляет животных заниматься геофагией. В научной среде существует несколько гипотез на эту тему, самой известной из которых является «натриевая» [1]. Действительно, давно доказано, что дефицит натрия запускает в мозгу травоядных млекопитающих особый механизм, функцией которого является поиск натрия в окружающей среде, что может выражаться в проявлении геофагии [3]. Однако, дефицит натрия не способен объяснить все случаи геофагии, особенно на территориях, где зафиксированы случаи геофагии и при этом не обнаруживается недостаток данного элемента в биодоступной для животных форме (вода, растительность).

Среди существующих гипотез, объясняющих проявление геофагии у травоядных животных, заслуживающей внимания представляется «редкоземельная» гипотеза [4]. Согласно данной теории, геофагия обусловлена биохимическим дисбалансом в организме, который возникает из-за недостатка элементов редкой и редкоземельной групп, играющих ключевую роль в поддержании нормальной работы иммунной системы. Такой дефицит приводит к нарушениям в функционировании иммунитета, что проявляется в дезадаптации организма к внешним раздражителям и, как следствие, в состоянии стресса. К числу важнейших химических элементов, обеспечивающих деятельность иммунной системы, эпифиза, щитовидной железы, а также функционирование нервных клеток спинного и головного мозга, относятся Se, Y, Sc, а также La и легкие лантаноиды, такие как Pr, Sm, Se и Nd.

Для проверки данной гипотезы нами был произведен отбор проб из организма животного (снежного барана), обитающего на территории Томпонского района Республики Саха (Якутия), на участке, где зафиксированы следы активной геофагии животных. Кроме того, для определения, какую концентрацию химических элементов считать в организме нормальной для данной территории, были проанализированы пробы органов и тканей свиньи домашней, отобранных на частной ферме, расположенной в том же районе. Всего для анализа было отобрано 52 пробы органов и тканей снежного барана и 35 проб свиньи домашней. Анализ проб проводился методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС). По полученным в результате анализа данным было обнаружено, что в организме снежного барана, в сравнении с организмом свиньи домашней, в несколько раз выше концентрация редкоземельных элементов как иттриевой («тяжелой» Y, Gd-Lu), так и цериевой («легкой» La-Eu) групп. Для лёгких и тяжёлых лантаноидов характерен химический антагонизм, выражающийся в способности элементов этих групп замещать друг друга в органах и тканях. Основная проблема, связанная с этим процессом, заключается в том, что тяжёлые лантаноиды не способны выполнять свои биологические функции в организме. В результате животные сталкиваются с необходимостью выведения тяжёлых лантаноидов и восполнения дефицита лёгких лантаноидов для поддержания нормальной жизнедеятельности.

Таким образом, полученные нами данные можно объяснить в рамках редкоземельной гипотезы следующим образом: снежный баран, являясь диким животным, испытывает недостаток РЗЭ легкой подгруппы для выведения избытка элементов РЗЭ тяжелой подгруппы, вследствие чего прибегает к геофагии. Минералы, которые животные

употребляют в пищу на кудюрах, богаты элементами редкоземельной группы. В свою очередь, в организме свиньи домашней данные химические элементы содержатся в меньших количествах, так как её питание сбалансировано и зависит от человека, в следствии чего прибегать к геофагии для сохранения внутреннего баланса ей не требуется.

Литература

1. Blair-West, D.A. Gellatly // *Physiology & Behavior*. – 1987. – Vol.39. – № 4. – P. 465-469
2. Blair-West J. R. et al. Changes in sodium appetite in cattle induced by changes in CSF sodium concentration and osmolality // *Physiology & behavior*. – 1987. – Т. 39. – № 4. – С. 465-469.
3. Burchfield S. R., Elich M. S., Woods S. C. Geophagia in response to stress and arthritis // *Physiology & Behavior*. – 1977. – Т. 19. – № 2. – С. 265-267.
4. Panichev A.M. et al. Development of the "rare-earth" hypothesis to explain the reasons of geophagy in Teletskoye Lake are kudurs (Gorny Altai, Russia) // *Environmental geochemistry and health*. – 2018. – Т. 40. – С. 1299-1316.
5. Panichev A. M. et al. Rare earth elements as a causal factor of geophagy among herbivorous animals // *Doklady Earth Sciences*. – Pleiades Publishing, 2021. – Т. 499. – С. 599-603.
6. Паничев А.М., Барановская Н.В. Геофагия как способ выживания растительноядных животных в ландшафтах с аномальным содержанием редкоземельных элементов // *Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: материалы VI Международной конференции, Томск, 20-24 сентября 2021 г.* Т. 2. – Томск, 2021. – Томский политехнический университет, 2021. – Т. 2. – С. 59-63.

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РАСТВОРЕННОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА НА ВЕРХОВОМ БОЛОТЕ

Рахова С.Е.

Научный руководитель с.н.с. Е.А. Заров

Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск, Россия

Болотные экосистемы являются основными резервуарами накопления углерода [3]. Типы болот различаются по условиям развития и их истории формирования. Из-за переувлажнения замедляется процесс разложения растительных остатков и происходит накопление органического вещества (ОВ). Деструкция ОВ происходит в основном в верхних горизонтах болота, обогащенных кислородом (акротелм). После перехода ОВ в анаэробный слой (катотелм) процесс разложения резко замедляется, и ОВ остается практически в неизменном виде. В процессе гумификации часть ОВ переходит в водорастворимую форму и может мигрировать вниз по течению по водосбору, влияя на состав вод. Часть растворенного органического вещества, проходящая через фильтр 0,45 мкм, принято относить к растворенному органическому углероду (РОУ) – наиболее подвижной форме. Состав РОУ неодинаков и зависит от растительности и условий разложения ОВ [1].

Исследование спектральных характеристик растворенного органического вещества (РОВ) в видимой и ультрафиолетовой областях спектра представляет собой доступный и эффективный метод анализа состава органических соединений в водах верховых болот. Этот подход позволяет оценить содержание гуминовых веществ, фульвокислот и других органических компонентов, которые играют ключевую роль в биогеохимических процессах. Спектральные характеристики РОУ также помогают определить степень гумификации, молекулярный вес и ароматичность органических соединений, что важно для понимания их влияния на экосистемы. Такие исследования особенно значимы для мониторинга состояния водных объектов, оценки антропогенного воздействия и прогнозирования изменений в природных условиях. Полученные данные могут быть использованы для разработки стратегий охраны и рационального использования водных ресурсов верховых болот, которые являются важными элементами глобального углеродного цикла.

Исследования проводились на территории международного полевого стационара «Мухрино» (60°53'20" с.ш., 68°42'10" в.д.), расположенного в 20 км к юго-западу от г. Ханты-Мансийск на левом берегу террасы реки Иртыш. Стационар характеризуется нетронутыми естественными болотными массивами олиготрофного типа питания [2].

Отбор проб проводился в июле 2023 года. В пяти различных естественных экосистемах вырезались лунки ниже уровня болотных вод, где стабилизируется вода и отбирается в бутылки из темного стекла объемом 60 мл. Отобранные образцы отправляли в лабораторию (Югорский государственный университет) на хранение не более суток в термостат (при температуре 4 °C), затем фильтровали через мембранный фильтр (Whatman, 0,45 мкм).

Исследование состава РОВ было проведено методом УФ-спектрофотометрии на анализаторе UV/Visible Spectrophotometer T8DCS (Beijing, China). Обработка спектрограмм произведена в программе UV-Win. Для определения показателя SUVA использовалось соотношение между поглощением света на длине волны 254 нм и концентрацией РОУ. Этот показатель возрастает прямо пропорционально увеличению доли ароматических соединений в составе органического вещества [5]. Содержание гуминовых веществ в РОВ оценивалось по соотношению поглощения на длинах волн 400 и 600 нм. Гуминовые вещества делятся на две основные фракции: фульвокислоты и гуминовые кислоты. Средний молекулярный вес РОВ определялся по соотношению поглощения на длинах волн 250 и 365 нм. Этот показатель напрямую связан с содержанием гуминовых веществ [4]. В исследовании было проанализировано 120 образцов воды.

Результаты проведенных анализов представлены на рисунках 1–3. Для исследованных экосистем были выявлены закономерности, открывающие особенности состава РОУ.

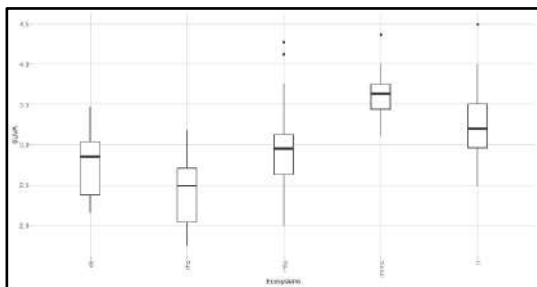


Рис. 1. Корреляция показателя SUVA и концентрации растворенного органического углерода

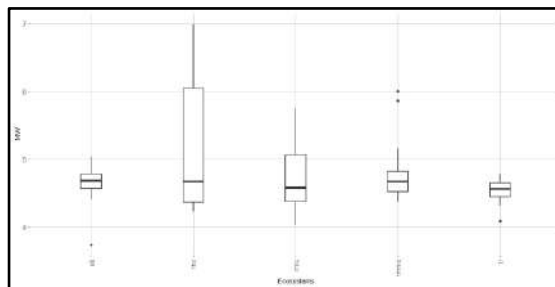


Рис. 2. Корреляция среднего молекулярного веса и концентрации РОУ

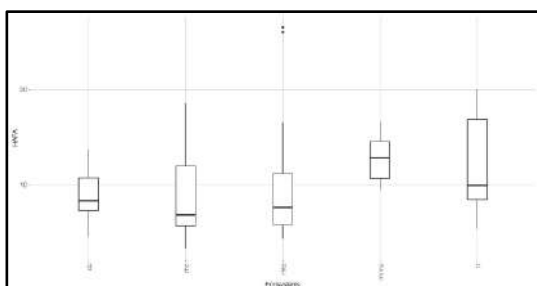


Рис. 3. Корреляция показателя HAFA и концентрации РОУ

*ob - открытое болото
rhc - грядово-мочажинный комплекс
rhc - грядово-топяной комплекс
rmms - рямово-мелкомочажинный комплекс
tr - типичный рям

Показатель SUVA изменяется в широких пределах – от 1,5 до 4,5. Рямовые комплексы (rmms, tr) отличаются наибольшими значениями SUVA (в диапазоне 3,2–3,5) с единичными выбросами до максимальных значений. Наименьшие значения обнаружены для грядово-мочажинного, грядово-топяного и открытого участков болота со значениями ниже 3,0. Средний молекулярный вес между экосистемами отличался незначительно и находился в пределах от 4,0 до 5,0. Наибольший разброс показателя характерен для грядово-мочажинного комплекса, предположительно из-за неоднородности условий. Показатель отношения гуминовых к фульвовым кислотам имеет схожую тенденцию с показателем SUVA. Наибольшие значения обнаруживаются для типичного рья и рямово-мелкомочажинного комплекса, когда как наименьшие значения (8–10) – для грядово-мочажинного, грядово-топяного и открытого болота.

Таким образом, нами обнаружены закономерности изменения состава РОУ между основными экосистемами верхового болота. Выявлено, что экосистемы с более низким уровнем болотных вод имеют более высокие значения показателя ароматичности и отношения гуминовых к фульвовым кислотам. Для экосистем с высоким уровнем болотных вод данные показатели закономерно снижаются.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ, проект № 25-27-00272 «Вынос растворенного органического вещества и сопряженных с ним микроэлементов из верхового болота, его трансформация в гидрологическом континууме»

Литература

1. Armstrong A., Holden J., Luxton K., Quinton J. Multi-scale relationship between peatland vegetation type and dissolved organic carbon concentration // *Ecological Engineering*. – 2012. – V. 47. – P. 182-188.
2. Dyukarev E., Zarov E., Alekseychik P., Nijp J., Filippova N., Mammarella I., Filippov I., Bleuten W., Khoroshavin V., Ganasevich G., Meshcheryakova A., Vesala T., Lapshina E. The multiscale monitoring of peatland ecosystem carbon cycling in the middle taiga zone of Western Siberia: the Mukhrino bog case study // *Land*. – 2021. – V. 10. – № 8. – P. 824.
3. Minayeva, T., Sirin, A. Peatland biodiversity and climate change // *Biology Bulletin Reviews*. – 2012. – V. 2. – № 2. – P. 164-175.
4. Olefeldt D., Roulet N. T., Effects of permafrost and hydrology on the composition and transport of dissolved organic carbon in a subarctic peatland complex // *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*. – 2012. – V. 117. – № G1.
5. Weishaar J.L., Aiken G.R., Bergamaschi B.A., Fram M.S., Fujii R., Mopper K. Evaluation of specific ultraviolet absorbance as an indicator of the chemical composition and reactivity of dissolved organic carbon // *Environmental science & technology*. – 2003. – T. 37. – № 20. – C. 4702-4708.

РТУТЬ В ТРАВЯНИСТОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ТЕРРИТОРИИ ЗАБАЙКАЛЬСКОГО КРАЯ

Рудакова А.Е.

Научный руководитель доцент Л.В. Жорняк

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Ртуть является одним из наиболее опасных химических элементов, обладающим высокой степенью токсичности. Среди тяжелых металлов она занимает первое место по уровню негативного влияния на наземные и водные растения, а также на животных [4]. В окружающую среду ртуть поступает как из естественных, так и из антропогенных источников. К естественным источникам относятся месторождения, содержащие ртуть, выбросы газов из недр Земли, а также испарения из природных водоемов. Антропогенные источники включают промышленные предприятия, такие как угольные электростанции, хлорно-щелочные и цементные заводы, аффинажные производства и атомные электростанции, где ртуть используется в качестве теплоносителя. Загрязняющие вещества, включая ртуть, способны перемещаться на большие расстояния благодаря воздушным потокам [11]. Особую опасность представляет накопление ртути в почве, где она образует различные химические соединения, влияющие на её поведение. Из почвы ртуть может проникать в растения, где постепенно накапливается. Наибольшую угрозу для человека и животных представляет её накопление в сельскохозяйственных культурах, которые используются в пищу или в качестве корма [12]. Присутствие ртути в почве и растениях может иметь серьезные последствия для экосистем и здоровья человека. Поэтому изучение содержания ртути в растениях является важной и актуальной задачей, направленной на снижение её негативного воздействия на окружающую среду и живые организмы.

Целью данного исследования является изучение особенностей накопления ртути в наземной части травянистой растительности на территории Забайкальского края. Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи: выполнить отбор проб, подготовить образцы для анализа и провести исследования с использованием анализатора ртути, а также обработать полученные данные.

Анализ проб растительности был проведен автором с использованием анализатора ртути «РА-915+» с приставкой «ПИРО-915+» (при консультации к.х.н., доцента ОГ ТПУ Осиповой Н.А.). Этот прибор предназначен для определения содержания ртути в твердых и жидких образцах сложного состава. Принцип работы «РА-915+» основан на дифференциальном атомно-абсорбционном методе измерения концентрации паров ртути.

Токсическое воздействие ртути на растения проявляется при её концентрации в почве свыше 1000 мг/кг, что приводит к отравлению растительности, а при 50 мг/кг наблюдаются нарушения ростовых процессов. У большинства растений концентрация ртути варьируется в пределах от 0,01 до 0,2 мг/кг [13]. Как правило, растения содержат меньше ртути по сравнению с почвами, на которых они произрастают. В Российской Федерации предельно допустимая концентрация (ПДК) ртути в почве установлена на уровне 2100 нг/г [8]. Для других компонентов геосистем, таких как растения или вода, ПДК не определены, и можно опираться лишь на средние показатели содержания. Например, средняя концентрация ртути в земной коре составляет 45 нг/г [10], а в растениях – около 15 нг/г [13].

Результаты измерений содержаний ртути в растительности представлены в таблице. Содержания ртути в растениях изменялись в пределах от 2,3 до 18,5 нг/г, при среднем значении 7,6 нг/г. Медианное значение составляет 6,7 нг/г. Максимальные значения выявлены в растениях, отобранных в с.Доно и д. Ивановка. В этих же пробах отмечены незначительные превышения содержаний ртути над средним значением для растений по литературным данным [13]. Превышений концентрации в наземной части растительности над ПДК во всех пробах не наблюдается.

Таблица

Результаты содержания ртути в растительности на территории Забайкальского края

№ п/п	Шифр пробы	Ср., нг/г	№ п/п	Шифр пробы	Ср., нг/г
1	Уров, Нерчинский завод	5,8	20	с. Чащино	7,6
2	с. Георгиевка	10,6	21	T13-04	5,3
3	с. Козлово	8	22	р. Б. Ильдикан	8,6
4	с. Солонцы	11,3	23	разлом выше Уровских Ключей	2,6
5	п.Большой Зерентуй	6,3	24	р. Уров	2,3
6	с. Калга	5,7	25	T13-03	4,3
7	с. Горный Зерентуй	4,5	26	р. Уров, мост	4,6
8	Александровский завод	12,4	27	Кириллинский источник	4,2
9	с. Горный Зерентуй	10,3	28	выше Уровских Ключей	6,2
10	с. Трубачево	13,2	29	T13-02	4,3
11	с. Батакан	10,9	30	перед мостом р. Уров	6,9
12	с. Курюмдункан	7,1	31	T13-06	3,5
13	с. Бутунтай	10,5	32	T13-07	3,3
14	с. Бурукан	7,2	33	р. Хива	7,9
15	Уров, Солонцы	13,1	34	T13-05	3,9
16	с. Доно	17,7	35	р. Ильдикан	8,8
17	с. Ушимун	6,5	36	Солонец	4,2
18	с. Ивановка	18,5	37	перед мостом р. Уров	6,1
19	с. Калдага	8,8	38	падь р. Изубриха-Сивачи	4,5

Результаты были сопоставлены с литературными данными по средним содержаниям ртути в растительности суши: 0,012 мг/кг (Романкевич, 1988) [9]; 0,015 мг/кг (Ковальский, 1974) [7]; 0,012 мг/кг (Добровольский, 2003) [6]; 0,1 мг/кг (Бернд Маркерт, 1991). Полученные данные сопоставимы.

Также несколько повышенные содержания Hg в осоке по сравнению с остальными пробами условно фоновых территорий (р. Большой Ильдикан, р. Хива, р. Ильдикан) можно объяснить тем, что данные пробы были отобраны в поймах рек, где в почвах может быть много органического вещества. По литературным данным [1] известно, что для таких почв характерны повышенные содержания ртути и, следовательно, в растительности может накапливаться ртуть.

Также результаты были сравнены с литературными данными по другим фоновым территориям: 0,01 мг/кг [5]; 0,016 мг/кг [1], полученные данные сопоставимы. Кроме того, исследования по содержанию ртути в почве на этой же территории [6] показывают, что максимальные уровни накопления в растительности коррелируют с таковыми для почв. Возможно, незначительный вклад в несколько повышенные концентрации ртути вносит геологическая обстановка территории, а именно наличие месторождений золота. Для д. Ивановки – Быстринско-Ширинское, с. Доно – Бугдаинское месторождение. По литературным данным известно, что главные элементы-примеси самородного золота – Ag, Cu и Hg [3].

Проведённые исследования показали, что концентрация ртути в надземной части растений на изучаемой территории соответствует фоновым значениям. Это свидетельствует об отсутствии значимых источников загрязнения данным химическим элементом в данном регионе. Изучение содержания ртути в растениях играет важную роль в поддержании экологического баланса и охране здоровья человека. Такие исследования позволяют выявить пути распространения ртути в природных экосистемах, определить потенциальные источники её поступления и разработать эффективные меры по снижению уровня загрязнения. Учитывая высокую токсичность ртути и её негативное влияние на окружающую среду, подобные исследования становятся необходимым инструментом для обеспечения устойчивого развития и сохранения здоровья экосистем планеты.

Литература

1. Барановская Н.В. и др. Ртуть в почвах и растительности на заповедных территориях Приморского края // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2022. – Т. 333. – № 11. – С. 90-100.
2. Буданова В.В. Ртуть в почвах локальных территорий Забайкалья / В. В. Буданова; науч. рук. Л. В. Жорняк; Национальный исследовательский Томский политехнический университет // Проблемы геологии и освоения недр. – Томск: Изд-во ТПУ, 2024. – Т. 1. – С. 208-209.
3. Гаськов И.В. Главные элементы-примеси самородного золота и связь их с условиями его образования на примере месторождений складчатых поясов Азии // Геология и геофизика. – 2017. – Т. 58. – № 9. – С. 1359-1376.
4. Гордеева О.Н., Белоголова Г.А., Андрулайтис Л.Д. Биогеохимические особенности миграции ртути в системе «почва-растение» Южного Прибайкалья // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Биология. Экология. – 2012. – Т. 5. – № 3. – С. 23-32.
5. Гусев А.И., Гусева О.И. Биогеохимические индикаторы накопления тяжелых металлов растениями на горно-рудных предприятиях горного и рудного Алтая // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. – 2012. – № 1. – С. 194-199.
6. Добровольский В.В. Геохимия почв и ландшафтов. – Науч. мир, 2009.
7. Ковальский В.В. Геохимическая экология / Очерки. Институт геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского. – Москва: Издательство наука, 1974. – 298 с.
8. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве [Электронный ресурс]: постановление Главного государственного врача России от 19.01.2006 о введении в действие гигиенических нормативов ГН 2.1.7.2041-06. – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
9. Романкевич Е.А. Живое вещество Земли (биогеохимические аспекты проблемы) // Геохимия. – 1988. – № 2. – С. 292–306.
10. Сауков А.А. Очерки геохимии ртути / А.А. Сауков, Н.Х. Айдиньян, Н.А. Озерова. – Москва: Издательство наука, 1972. – 336 с.
11. Содержание ртути в почвенно-растительном покрове островов Русский и Шкота [Текст] / К. С. Ганзей, Н. Ф. Пшеничникова [и др.] // Геохимия. – 2021. – № 5. – С. 473-480.
12. Черных Н.А. Экотоксикологические аспекты загрязнения почв тяжелыми металлами [Текст] / Н.А. Черных, Н.З. Милащенко, В.Ф. Ладонин // Экологическая безопасность в АПК – Пушкино: Издательство «Отдел научно-технической информации Пушкинского научного центра Российской академии наук», 2001. – 148 с.
13. Klock A. Orientierungsdaten für tolerierbare Gesamtgehalte einiger Elemente in Kulturböden. Mitteilungen [Текст] / А. Klock. – 1980. – V. 1(3). – P. 9-11.

**ОСНОВНЫЕ ФОРМЫ КАРБОНАТНЫХ НОВООБРАЗОВАНИЙ
В АВТОМОРФНЫХ ПОЧВАХ ПОДТАЕЖНОЙ ЗОНЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ**

Садиров М.Ш.

Научные руководители доцент И.В. Вологодина, доцент С.В. Лойко

Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия

На процессы формирования, скорости накопления и общее количество почвенных карбонатов влияет большой комплекс различных внешних и внутренних факторов. Внешние факторы, такие как климат, рельеф и организмы, в основном влияют на локализацию и скорость образования почвенных карбонатов, а также регулируют водный баланс и содержание CO_2 в почвенном воздухе. Внутренние почвенные факторы, такие как материнская порода и физико-химические свойства, в основном отвечают за общее количество почвенных карбонатов, их морфологию и примеси [1, 7].

Форма карбонатных новообразований определяется гидротермическим режимом почвы – концентрацией кальция (или других ионов, таких как магний) в почвенных растворах, парциальным давлением CO_2 , влажностью почвы и испарением почвенной влаги, характером иссушения почвенного профиля. Кроме того, к числу факторов, влияющих на формирование макроформы и микроформы карбонатных новообразований, относят гранулометрический состав, присутствие глинистых минералов, наличие живых организмов [1, 7].

Состав и строение карбонатных новообразований были изучены с помощью сканирующего электронного микроскопа (РЭМ) TESCAN Mira III LMU в сочетании с усовершенствованной системой анализа элементного состава AZTEC ADVANCED на базе энергодисперсионного детектора Ultimex Max 40 в Томском региональном центре коллективного пользования ТГУ.

Район исследований расположен на юго-востоке Западной Сибири, в пределах западного макросклона Томь-Яйского междуречья. Объекты расположены в подтаежной природной зоне. С целью определения распространенности карбонатных новообразований в почвенном профиле и их характеристики на этой территории изучено 11 профилей. Почвенные профили имеют автоморфный характер, не переувлажняются за счет стока грунтовых или поверхностных вод и залегают в условиях плакорного рельефа, обеспечивающего сток и дренаж. Почвы рассматриваемого региона имеют промывной водный режим [3], что не способствует накоплению больших количеств карбонатных новообразований в почвах. Можно сказать, что педогенные карбонаты почвенного профиля в переходных горизонтах к почвообразующей породе (BC) и в почвообразующей породе (C) проявляются в различных формах. Наиболее часто встречающиеся формы карбонатных новообразований – гипокутаны и игольчатые кристаллы. Ниже приведены данные по морфологии этих форм карбонатных новообразований.

Гипокутаны – это пропитки CaCO_3 вокруг пор почвенной матрицы [4, 6, 7]. Они образуются в результате проникновения воды под покрытие через почвенную матрицу и быстрого осаждения CaCO_3 вокруг крупных и средних пор почвы. Быстрое осаждение является обычным явлением из-за сильного снижения CO_2 в этих порах по сравнению с микропорами. Гипокутаны также могут образовываться за счет подтягивания при иссушении почв капиллярных растворов к стенкам крупных пор (рис. 1А). Из-за быстрого выпадения осадков эта форма CaCO_3 может образовываться в течение нескольких недель или месяцев [4, 7]. Существует ещё одно предположение, объясняющее их формирование деятельностью корневой системы растений – быстрое поглощение влаги корнями обуславливает интенсивную кристаллизацию карбонатов из растворов [6]. Эта гипотеза объясняет форму данных новообразований, которые часто образуют как бы чехол вокруг отмерших корней (рис. 1В). В подтаёжных почвах, при изучении под биноклем размер гипокутаны составляет несколько мм в диаметре, обычно менее 1 мм. Микроморфологическое строение: гипокутаны обычно состоят из микритовых и микроsparитовых кристаллов. Размер агрегатов составляет до 50 мкм (рис. 1С).

В карбонатных горизонтах подтаёжных почв следующей наиболее распространенной формой карбонатного новообразования является игольчатый кальцит. В зависимости от формы, его можно разделить на две категории: монокристаллические стержни и поликристаллические цепочки. Считается, что монокристаллические формы образуются непосредственно в результате биологических процессов, при которых удлиненные кристаллы образуются в результате биоминерализации грибов внутри пучков мицелия и впоследствии высвобождаются при распаде органического вещества стенок грибов [4, 5]. Поликристаллические цепочки подобны кристаллам, образующимся в результате физико-химического процесса, включающего быстрое испарение.

Для почв исследуемой территории характерны монокристаллические формы карбонатных новообразований. Встречаются игольчатые кристаллы кальцита длиной до 3 мкм, которые нарастают вокруг органических образований, таких как всасывающие корни и гифы грибов (рис. 2).

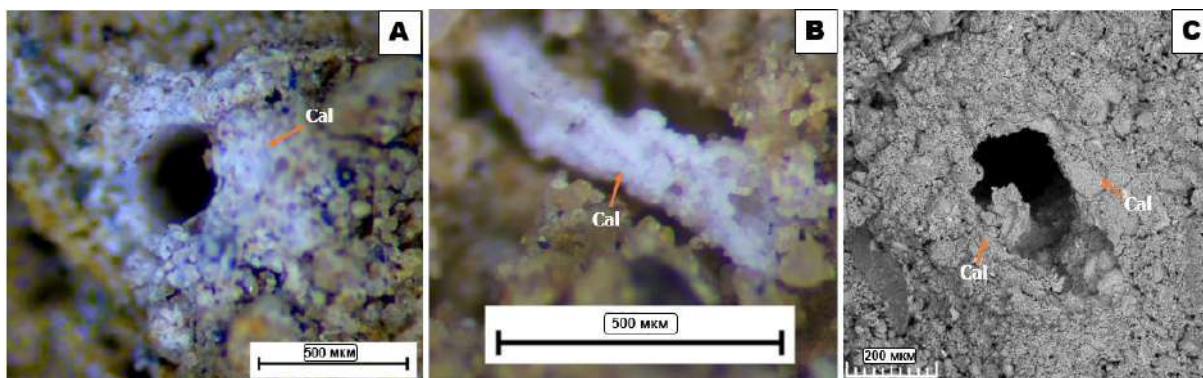


Рис. 1. Морфология гипокутан в серых лесных почвах подтайёжного региона

Примечание: А, В – агрегаты кальцита вокруг корневых каналов. Фотографии под бинокуляром; С – строение и состав гипокутаны. Снимок РЭМ сделан в режиме BSE. Условные обозначения: Cal – кальцит

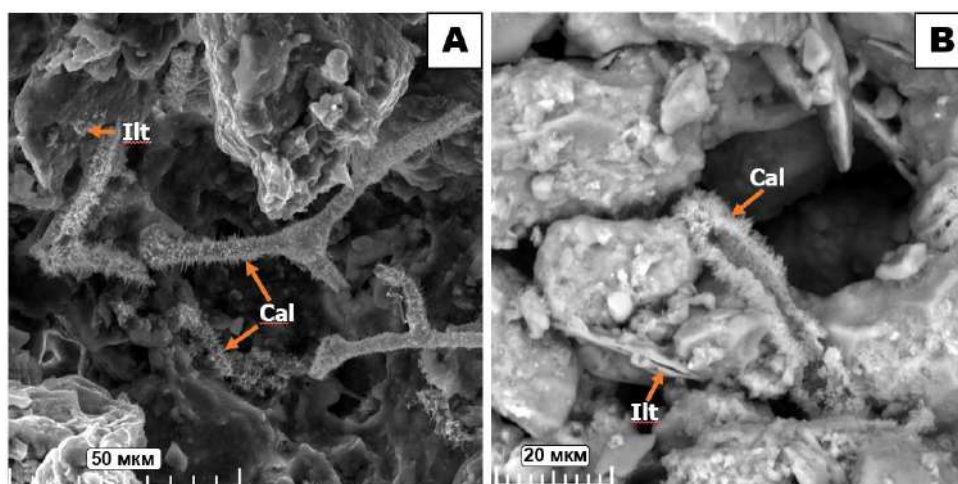


Рис. 2. Строение и состав биогенных карбонатных новообразований в серых лесных почвах подтайёжного региона. Примечание: А – В – игольчатый кальцит. Снимки РЭМ сделаны в режиме SE (А), BSE (В). Условные обозначения: Cal – кальцит, Ilt – иллит (тонкие чешуйки)

Происхождение в подтайёжных почвах игольчатых карбонатных новообразований связано с биологическими процессами. Биогенное образование включает в себя прямое осаждение карбонатов бактериями, грибами, корнями растений. Биологическая активность увеличивает концентрацию ионов Ca^{2+} внутри организмов (например, в клеточных стенках растений, в гифах грибов) или снижает её (например, вдоль корней из-за притока массы воды к корню, под гнездами термитов из-за их характерного остаточного скопления) [7]. Можно сказать, что грибы также являются важными факторами образования педогенных карбонатов. Рост грибов связан с развитием мицелия, которая может образовывать сеть в почве. Нитевидные грибы, нуждаясь в поглощении Ca^{2+} для своего метаболизма, развивают способность концентрировать данные ионы в своем слоевище в виде солей оксалата кальция или карбоната кальция, внутри или снаружи своей мембраны [2, 6].

Нужно отметить, что в почвах исследуемой территории встречаются формы педогенных новообразований различного генезиса. Среди них выделяются хемотропные новообразования, такие как гипокутаны, которые образуются в результате химических процессов осаждения CaCO_3 , и биогенные новообразования, представленные игольчатыми кристаллами кальцита, возникающими в результате биоминерализации.

Литература

1. Голубцов В.А. Карбонатные новообразования в почвах Байкальского региона: процессы формирования и значение для палеопочвенных исследований // Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2017. – № 39. – С. 6-28.
2. Кузнецова А.М., Хохлова О.С., Остерриет М. Биогенные и хемотропные кальциевые новообразования в моллисолях на лессах Аргентинской Пампы // Почвоведение. – 2011. – № 1. – С. 82-89.
3. Лойко С.В. Природные условия западного макросклона Томь-Яйского междуречья: материалы к полевой части Первой Всероссийской школы - конференции по лесной экологии" Современные проблемы и методы лесной экологии" (Томск, 25-30 августа 2013 г.) / С.В. Лойко, Л.И. Герасько, С.П. Кулижский. – Томск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2013. – 56 с.
4. Barta G. Secondary carbonates in loess-paleosol sequences: a general review // Open Geosciences. – 2011. – V. 3. – № 2. – P. 129-146.

5. Durand N., Monger H.C., Canti M.G. Calcium carbonate features / Interpretation of micromorphological features of soils and regoliths. Amsterdam: Elsevier, 2010. – P. 149-194.
6. Verrechia E.P. Pedogenic carbonates // Encyclopedia of Geobiology. Encyclopedia of Earth Sciences Series. Springer, – 2011. – P. 721-725.
7. Zamanian K., Pustovoytov K., Kuzyakov Y. Pedogenic carbonates: Forms and formation processes // Earth-Sci. Rev. – 2016. – V. 157. – P. 1-17.

ОБЗОР МЕТОДОВ ОЧИСТКИ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ АКВАТОРИЙ И ПРИБРЕЖНЫХ ТЕРРИТОРИЙ Севостьянова Ю.Е.

Научный руководитель доцент С.В. Азарова

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Проблема загрязнения водоемов является острой. В настоящее время остатки нефти попадают в акваторию всё чаще. Вследствие чего загрязнение сокращает не только количество живых организмов, но и запасы чистой воды. В связи с катастрофой в Черном море в 2024 г. обзор методов очистки акваторий от нефти и нефтепродуктов является востребованным. Один из главных критериев к выбору лучшего метода – очистка должна выполнять свои действия в кратчайшие сроки.

Цель: поиск методов очистки акваторий и прибрежных территорий, загрязненных нефтью и нефтепродуктами. Задачи: разобраться в особенностях каждого из методов, найти реальные примеры применения.

Для очистки нефтезагрязненных территорий и прибрежных зон применяются 5 основных методов:

1. *Метод сорбции*: Выбор того или иного сорбента зависит от масштаба загрязнения, этапа очистки, требуемого качества очистки, состояния загрязняющих нефтепродуктов и других параметров. Практически любой метод сорбции характеризуется капиллярным удержанием, адсорбцией, хемосорбцией, абсорбцией. Адсорбция может происходить за счет взаимодействия между веществами на молекулярном уровне (адгезии) загрязнений на поверхности частиц сорбента, отчего не будет следовать изменений химического состава сорбата, или при наличии химических связей между сорбентом и сорбатом за счет хемосорбции [7]. По некоторым данным очистка воды с использованием адсорбентом обеспечивается до 98 % [13].

Сорбционные свойства материалов зависят от химического состава и физического состояния поверхности, пористости и удельной поверхности, поэтому перед использованием сорбирующих материалов нужно учитывать внешние факторы для получения хорошего результата сорбции.

Требования к сорбирующим материалам:

- высокая сорбционная способность по отношению к нефти и нефтепродуктам;
- высокая удерживающая способность;
- минимальное время поглощения основной массы загрязнений;
- возможность регенерации сорбата;
- экономичность;
- экологичность;
- технологичность изготовления и утилизации сорбента [7].

При правильном сочетании сорбентов можно очистить большой объем воды. Для некоторых сорбентов характерны особые свойства. Например, сорбенты с магнитными свойствами используются для труднодоступных для человека или техники мест, чтобы потом собрать их приспособлениями с магнитами. Сорбенты для ускорения разложения нефтепродуктов содержат микробиологические культуры [7].

2. *Биологический метод*: Нефтеоокисляющие организмы – наиболее распространенный метод очистки от загрязнений нефти. Известны около двух сотен видов микроорганизмов, разлагающие нефтепродукты. Наиболее активными для разрушения углеводородов являются виды, относящиеся к родам *Brevibacterium*, *Pseudomonas*, *Mycobacterium* и другие. Морские воды считаются чистыми при 10^3 клеток/мл, а при численности бактерий от 10^3 до 10^7 клеток/мл воды свидетельствуют о нефтяном загрязнении [11]. При деградации нефти с использованием микроорганизмов происходят процессы, при которых идет обеспечение гидролиза, окислительного дезаминирования.

3. *Термический метод* чаще всего применим при разливах нефти в водной среде при слое более 3 мм, иначе нефть не будет гореть из-за охлаждающего эффекта воды. Также важно, чтобы скорость ветра была не более 35 км/ч, и пленочный слой не менял свое положение. У данного метода выделяется главная проблема реализации: горючие фракции достаточно быстро улетучиваются, что мешает процессу горения [18].

4. *Механический метод* эффективен для использования в первые часы после разлива за счет толщины слоя нефти. Если данный метод реализовать не в первые часы после разлива, то слой нефти будет уменьшаться, а площадь загрязнения расти за счет ветра и движения воды. Для применения механического метода используются нефтесборщики, но не все загрязнения удаляются: на поверхности остается около 30 % продуктов. Вместе с тем идет поглощение до 80 % воды при сборе с помощью всасывающих устройств, такая вода требует дополнительной очистки, что влечет за собой дополнительные затраты [13].

5. *Химический метод* – наиболее действенный способ для очистки воды от нефтепродуктов, составляет до 95 %. Для реализации данного метода в воду добавляются реагенты, которые вступают в реакцию с нефтепродуктами. Вещества выводят нефть в виде осадка, что может привести к накоплению нефтепродуктов на дне водоёма и вторичному очищению водной среды [13].

Таблица

Краткая информация методов очистки и примеры

Метод очистки	Описание метода	Реальные примеры
Метод сорбции	Капсулизация нефти выполняется при использовании сорбента «Биомикрогель» за счет полимерных пленок на границе масляной и водной фазы. Микрокапсулы между собой соединяются и имеют вид желеобразной массы. Желеобразную массу устраняют соответствующими компонентами. Получившийся сорбент с капсулированной нефтью внутри утилизируют [15]	Эффективность сорбента «Хитозана» такова: наблюдались гелевые образования на поверхности капель нефти [10]
Биологический метод	Используются дрожжи <i>Candida</i> , образуется биомасса, содержащая много белка и витаминов, или препараты «Деворойл» и «Ленойл», так микроорганизмы расщепляют сложные углеводородные соединения [14]	Биопрепарат «Ленойл» применялся в Оренбургской области (Оренбургнефть – ТНК-ВР, Оркснефтеоргсинтез – АНК РуссНефть), Нижегородской области (Верхневолжские магистральные нефтепроводы), Тюменской области (РИТЭК, ТНК ВР, Сургутнефтегаз) и др. [3]
Термический метод	Происходит выжигание слоя нефти в первые часы после разлива, пока не образовалась эмульсия с водой [1]	Зачастую термический способ хорошо сочетается с другими методами очистки разливов. Как самостоятельный метод используется редко, если другие методы по ликвидации нефти и нефтепродуктов не действенны
Механический метод	Плавучее боновое ограждение изолирует и сдерживает локальное распространение нефтепродуктов по поверхности воды [4]	Эффективность метода заключается в окольцовывании разлитых нефтепродуктов для предотвращения к распространению [9]
Химический метод	К компонентам для очистки добавляются различные реагенты	Наиболее простой метод реализует 92-98 % -ная серная кислота и олеум – раствор серного ангидрида в серной кислоте [17]

Заключение: анализируя выполненные работы, можно сделать вывод, что каждый из методов характеризуется своими особенностями, зависит от внешних факторов или природы компонента. В каждом конкретном случае необходимо выбирать или комбинировать методы между собой для получения наилучшего результата для ликвидации нефти и нефтепродуктов.

Литература

1. Аварийные разливы нефти: средства локализации и методы ликвидации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://clck.ru/3GjhhU>.
2. Адгезия – Что такое Адгезия? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://neftegaz.ru/tech-library/ngk/148003-adgeziya/>.
3. Биопрепарат – нефтедеструктор «Ленойл» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ekonsalting.ru/biopreparat-neftedestruktor-lenoyl/>.
4. Боновые заграждения для нефти: какие бывают боны [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://lessorb.ru/news/bonovye-zagrazhdeniya/>.
5. Двадненко М.В. и др. Адсорбционная очистка сточных вод // Современные наукоемкие технологии. – 2010. – № 10. – С. 214-215.
6. Двадненко М.В. Выбор адсорбента для очистки сточных вод // Современные наукоемкие технологии. – 2010. – № 10. – С. 213-214.
7. Малышкина Е.С. Классификация сорбентов, используемых в технологиях очистки сточных вод от нефтепродуктов Е.С. Малышкина. – DOI: 10.17673/Vestnik.2020.03.5. – Текст: непосредственный // Градостроительство и архитектура. – 2020. – Т. 10. – № 3. – С. 26-34.
8. Методы ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://dprom.online/oilngas/metody-likvidatsii-razlivov-nefti-i-nefteproduktov/>.
9. Патент № 2 374 389 Российская Федерация, МПК E02B 15/08. Боновое заграждение для локализации наводной поверхности разливавшихся из судна-перевозки нефти или нефтепродуктов и устройство для его размещения на судне-перевозчике: № 2008114677/03. заявл. 04.04.2008; опубл. 27.11.2009 Бюл. №33 / Сорокин А. Б. – 7 с.
10. Патент № WO 2015/190951 A1, МПК C09K 3/32, C02F 1/56, E20B 15/04, C02F 101/31. Вещество для сбора нефти и нефтепродуктов с поверхности воды и способ его использования (варианты). № PCT/RU2015/000358. заявл. 09.06.2015; опубл. 17.12.2015 / А.А. Елагин, М.А. Миронов, И.Д. Шулепов – 17 с.
11. Патин С.А. Нефть и экология континентального шельфа. Т. 1: Морской нефтегазовый комплекс: состояние, перспективы, факторы воздействия. – М.: Изд-во ВНИРО, 2017. – С. 202-203
12. Пospelova И.Г., Возмищев И.В., Кузьмин, В.Н. Термические методы удаления нефти и нефтепродуктов из DOI <https://doi.org/10.25689/NP.2021.2.154-162> почвы // Нефтяная провинция. – 2021. – № 2 (26). – С. 154-162.
13. Привалова Н.М., Двадненко М.В. Исследование методов очистки вод от загрязнений нефтью и нефтепродуктами // Научный журнал КубГАУ. – 2015. – № 113(09). – С. 2-4.

14. Современные методы защиты и очистки вод от загрязнения нефтепродуктами [Электронный ресурс]. – Режим доступа: sovremennye-metody-zaschity-i-ochistki-vod-ot-zagryazneniya-nefteproduktami.
15. Сорбенты для очистки воды от нефтепродуктов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://biomicrogel.com/ru/blog/sorbents-for-water-purification/>.
16. Сорбционная очистка [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.vo-da.ru/articles/sorbcionnaya-ochistka/sorbciya-adsorbciya>.
17. Технология переработки нефти и газа. ч. 3. Черножуков Н. И. Очистка и разделение нефтяного сырья, производство товарных нефтепродуктов. Под ред. Гуреева А. А., Бондаренко Б. И. – 6-е изд-во., пер. и доп. – М.: Химия, 1978 г. – 424 с.
18. Шведчиков Г.В. Новая технология борьбы с нефтяными загрязнениями на основе гидрофобных и олеофильных сорбентов // Общество. Среда. Развитие – 2010. – № 3. – С. 225-228.

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ СПЕЦИФИКА СОСТАВА СНЕГОТАЛОЙ ВОДЫ В РАЙОНЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ ГЛИНОЗЁМНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Тармёнок Е.О.

Научный руководитель профессор А.В. Таловская

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Производство глинозёма играет ключевую роль в производстве алюминия, основного металла мировой металлургии. Зарубежные производители используют преимущественно бокситы, в России же около 41 % глинозёма добывается из нефелиновых руд [1]. Несмотря на значимость вопроса о влиянии глиноземного производства на загрязнение окружающей среды [2, 5, 8, 14], изучение воздействия переработки именно нефелиновых руд остаётся недостаточным.

Целью данной работы является выявление геохимической специфики снегового покрова в районе расположения глиноземного производства, использующего нефелиновые руды.

Отбор и подготовку проб снегового покрова осуществлялся по стандартной методике [4, 6] с учетом опыта снегогеохимических исследований в Сибири [11, 12]. Пункты наблюдения располагали с учетом главенствующего направления ветра, в 5 направлениях от крупных источников загрязнения глиноземного комбината. По результатам отбора и подготовки проб получены твёрдый осадок снега и снеготалая вода. В данной статье основное внимание уделяется анализу снеготалой воды, способствующей распространению растворимых загрязняющих веществ в окружающую среду.

В лабораториях МИНОЦ «Урановая геология» ТПУ автором произведены измерения концентрации фтора с помощью потенциометрического метода титрования с селективным электродом фтора (консультант: к.х.н., доцент ОГ Н.А. Осипова). В НОЦ «Вода» ТПУ состав проб снеготалой воды изучался методом ионной хроматографии; потенциометрическим, титриметрическим. Общая жесткость проб снеготалой воды определялась расчетным методом. Элементный состав проб с помощью метода масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой. Полученные данные сравнивали с ПДК_{р.х.} [10], с фоновыми значениями [12], с кларком речных вод [3], составом атмосферных осадков [9].

Для обработки данных химического анализа снеготалой воды использована формула Курлова [13], представляющая собой дробь (ложную дробь, т.к. операция деления не производится), в числителе которой записывают анионный состав воды в процент-эквивалентах в убывающем порядке, а в знаменателе – катионный состав воды в процент-эквивалентах в убывающем порядке. Оценка экологического состояния снеготалых вод была произведена на основе классификации В.Д. Романенко [7] по значению содержания анионов NO₃⁻ (менее 0,001 мг/л – предельно чистая; 0,001–0,005 – чистая; 0,006–0,020 – удовлетворительной чистоты; 0,021–0,100 – умеренно загрязненная; 0,101–0,300 – весьма грязная; более 0,300 – предельно грязная), NO₃⁻ (менее 0,05 мг/л – предельно чистая; 0,05–0,50 – чистая; 0,51–1,50 – удовлетворительной чистоты; 1,51–2,50 – умеренно загрязненная; 2,51–4,00 – весьма грязная; более 4,00 – предельно грязная).

Результаты анализа химического состава снеготалой воды в районе глиноземного комбината с его теплоэлектростанцией показали её отличие от фоновых показателей (табл.). В районе исследования снеготалая вода характеризуется гидрокарбонатным, натриево-кальциево-калиевым составом, является умеренно пресной (M = 0,2 г/дм³) и очень мягкой (Ж_{общ} = 0,8 мг-экв/л). Главные компоненты в снеготалой воде по своим средним концентрациям в районе комбината располагаются следующим образом: гидрокарбонаты > сульфаты > хлориды > карбонаты > нитраты > нитриты. Среднее значение pH составляет 7,9, что говорит о слабощелочном характере атмосферных осадков в данном районе по градации из работы [7].

Таблица

Формула Курлова для снеготалых вод в окрестностях глиноземного комбината и фонового района

Район	Формула Курлова
Глинозёмный комбинат	$\frac{\text{CO}_3 57 \text{NO}_3 13 \text{M}_{0,2} \text{HCO}_3 62 \text{SO}_4 25 \text{Cl} 11}{\text{Na} 47 \text{Ca} 34 \text{K} 14} \text{pH} 7,9$
Фон (40 км)*	$\frac{\text{NO}_3 23 \text{CO}_3 20 \text{M}_{0,02} \text{HCO}_3 64 \text{SO}_4 27}{\text{Ca} 84} \text{pH} 7$

Примечание: * – данные для расчёта формулы Курлова в фоновом районе [12]

Установлено, что по мере удаления от комбината в снеготалой воде наблюдается снижения концентрации CO_3^{2-} в 19 раз, HCO_3^- в 1,3 раз, Na^+ и K^+ в 4 раза, исключение составляет Ca^{2+} , концентрации которого существенно не изменяются (рис. 1). Установлено превышение фона для средних концентраций карбонат-ионов и кальция в 4 раза, гидрокарбонатов в 10 раз, нитрит ионов в 2 раза в снеготалой воде. Превышений концентраций рассматриваемых компонентов ПДК_{р.х.} не было обнаружено, исключение составляют нитриты-ионы – выше ПДК_{р.х.} в 4 раза. По классификации загрязнения природных вод отдельными компонентами [7] выявлено, что снеготалая вода по содержанию нитрит-ионов характеризуется как весьма загрязнённая, тогда как по нитрат-ионам – как умеренно загрязненная.

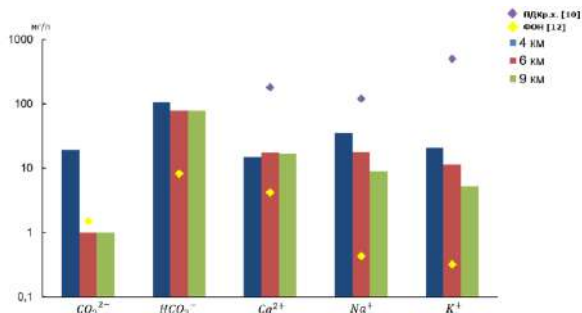


Рис. 1. Распределение макрокомпонентов в снеготалой воде по мере удаления от глиноземного комбината

Концентрации фтора в снеготалой воде варьируются от 0,32 до 0,20 мг/л и снижаются по мере удаления от комбината, не превышают ПДК_{р.х.} и имеют ниже, чем в районе алюминиевого завода (13 мг/л [15]). В снеготалой воде в окрестностях комбината практически все химические элементы, за исключением Al, имеют содержания ниже ПДК_{р.х.} (рис. 2). При сравнении с кларками речных вод выделяются элементы, присутствующие в повышенных концентрациях в пробах снеготалой воды из района глиноземного комбината, а именно Na, Al, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, As, La, Ce. При сравнении содержания химических элементов в снеготалой воде с содержанием в атмосферных осадках бассейна Средней Оби, повышенными содержаниями выделяются элементы Mg и Ca. Относительно фоновых значений наблюдаются превышения большинства изучаемых элементов в снеготалой воде, за исключением Mn, Ni, As и Pb.

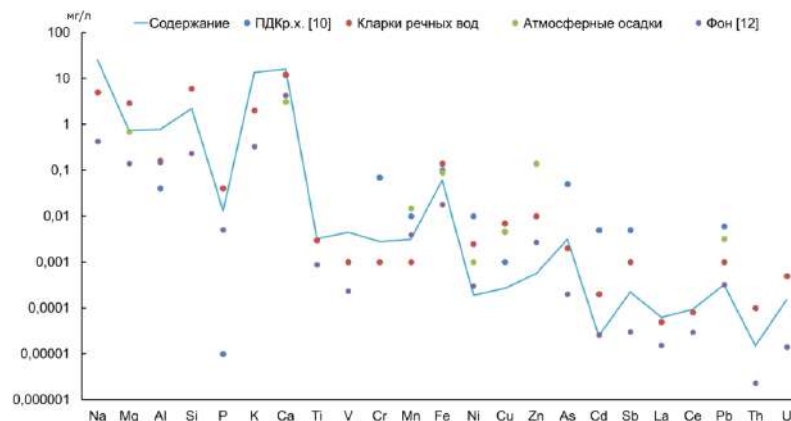


Рис. 2. Средние содержания химических элементов в снеготалой воде в районе глинозёмного комбината

Таким образом, в результате исследования выявлена геохимическая специфика снегового покрова в районе размещения глинозёмного производства, использующего нефелиновые руды, относительно ПДК_{р.х.}, фоновых показателей, кларка речных вод и состава атмосферных осадков в бассейне Средней Оби, по макро- и микрокомпонентному составу снеготалой воды.

Литература

1. Александров А.В., Немчинова Н.В. Влияние модульных характеристик спека на извлечение глинозема при переработке нефелиновых руд // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Metallurgy. – 2022. – Т. 22. – № 4. – С. 21-30.
2. Афанасенко О.В. и др. Исследования экологической безопасности и мониторинг воздействия источников загрязнения на территории Средне-Тиманского бокситового рудника ОАО «Боксит Тимана» // Известия Коми научного центра УРО РАН. – 2010. – № 2 (2).
3. Виноградов А.П. Введение в геохимию океана. – 1967.
4. Сает Ю.Е. и др. Геохимия окружающей среды. – М.: Недра, 1990. – С. 335.
5. Корельский Д.С. Мониторинг почвенно-растительного покрова в зоне воздействия ОАО «Бокситогорский глинозем» // Записки Горного института. – 2006. – Т. 167. – № 1. – С. 70-73.
6. Ревич Б.А. и др. Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве (утв. главным государственным санитарным

- врачом СССР от 15.05. 1990 № 5174-90). – М.: ИМГРЭ, 1990. – URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293736/4293736062.pdf> (18.05. 2022). – 1990. – С. 15.
6. Пасечник Е.Ю. Эколого-геохимическое состояние природных вод территории города Томска (правобережной части р. Томь): дис. – 2010.
 7. Пыстина Т.Н., Кузнецова Е.Г., Новаковский А.Б. Реакция лишайника *Hypogymnia physodes* на пылевое загрязнение в зоне влияния Средне-Тиманского бокситового рудника // Сибирский экологический журнал. – 2023. – Т. 30. – № 3. – С. 372-385.
 8. Савичев О.Г., Иванов А.О. Атмосферные выпадения в бассейне Средней Оби и их влияние на гидрохимический сток рек // Известия Российской академии наук. Серия географическая. – 2010. – № 1. – С. 63-70.
 9. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания: от 28.01.2021.
 10. Таловская А.В. Экогеохимия атмосферных аэрозолей на урбанизированных территориях юга Сибири (по данным изучения состава нерастворимого осадка снежного покрова): диссертация на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук: спец. 1.6. 21: дис. – 2022.
 11. Шахова Т.С. Влияние нефтеперерабатывающих заводов на эколого-геохимическую обстановку прилегающих территорий по данным изучения снежного покрова (на примере гг. Омск, Ачинск, Павлодар): диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук: спец. 25.00. 36: дис. – 2018.
 12. Шварцев С.Л. Общая гидрогеология / С.Л. Шварцев. – М.: Недра, 1996. – 46 с.
 13. Cherchi A. et al. Benthic foraminifera response and geochemical characterization of the coastal environment surrounding the polluted industrial area of Portovesme (South-Western Sardinia, Italy) // Marine Pollution Bulletin. – 2009. – Т. 59. – № 8-12. – С. 281-296.
 14. Fluorine concentration in snow cover within the impact area of aluminium production plant (Krasnoyarsk city) and coal and gas-fired power plant (Tomsk city) / Talovskaya A.V., Osipova N.A., Polikanova S.A. [et. al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2015 – Vol. 27. – P. 012043-1. – 012043-6.

СОДЕРЖАНИЕ РТУТИ В ЭПИФИТНЫХ ЛИШАЙНИКАХ И ПОЧВАХ УРБАНИЗИРОВАННОЙ ТЕРРИТОРИИ (ПГТ. ЗЕЛЕНОБОРСК ХМАО-ЮГРА)

Тихомирова А.А.

Научный руководитель доцент С.В. Азарова

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Наблюдение за состоянием элементов окружающей среды представляет собой важный и необходимый процесс, который направлен на оценку воздействия деятельности человека. Биомониторинговые исследования являются важнейшей составляющей оценки состояния окружающей среды [1]. Лихеноиндикация представляет собой биологический метод оценки экологического состояния окружающей среды, основанный на изучении лишайниковых организмов. Суть методики заключается в способности этих организмов аккумулировать различные химические соединения, поступающие не только из атмосферы, но также из почвенного субстрата и выпадающих осадков.

Изучение состояния экосистемы с помощью почвы требует комплексного подхода [3]. Для исследований проб почвы используются такие методы, как гранулометрический анализ, качественный и количественный анализ почвы и т.д.

Ртуть относится к числу наиболее опасных химических элементов в природе. Её высокая угроза для окружающей среды и здоровья человека обусловлена такими физико-химическими свойствами, как токсичность, способность к миграции и накоплению в различных компонентах экосистем [2]. Актуальность исследования ртути обусловлена серьёзными экологическими проблемами, которые возникают в результате использования ртути в промышленности. Ртуть представляет серьёзную угрозу для живых организмов, включая человека, накапливаясь в различных компонентах биосферы и оказывая негативное воздействие на организм в целом. В связи с этим изучение свойств ртути, её влияния на окружающую среду и разработка мер по минимизации негативного воздействия становятся важнейшими задачами современной науки и техники.

Цель: исследование уровня загрязнения в городских условиях на примере пгт. Зеленоборск (ХМАО-Югра) с применением лихеноиндикации и анализа почвенных образцов на наличие ртути. Задачи: обзор научных публикаций по теме накопления ртути в лишайниках и почвах, определить ключевые точки отбора проб, полевой сбор образцов эпифитных лишайников *Evernia prunastri* и почв, провести лабораторный анализ на содержание ртути в отобранных образцах с использованием атомно-абсорбционной спектроскопии, проанализировать результаты и сравнить их с данными прошлых лет.

Пробы для исследования были собраны в августе 2024 г. на территории пгт. Зеленоборск, расположенного в Советском районе Ханты-Мансийского автономного округа – Югры. Основными промышленными объектами данного населённого пункта являются предприятия лесоперерабатывающей отрасли и централизованная система теплоснабжения. Отбор проб осуществлялся в условиях ясной погоды при отсутствии осадков. В ходе полевых работ было собрано 18 образцов лишайниковых эпифитов *Evernia prunastri* и 8 образцов почвенного покрова (рис. 1).

Отбор и подготовка проб лишайников и почв проводилась в соответствии со стандартными методиками. Определение концентрации ртути проводилось на анализаторе «РА-915М» с использованием зеемановской коррекции фона и пиролизной приставки «ПИРО-915+» в сочетании с программным обеспечением RA915P. Измерения выполнялись под руководством доцента Осиповой Н.А. на базе лаборатории Международного инновационного научно-образовательного центра «Урановая геология» Томского политехнического университета. Полученные экспериментальные данные визуализированы на рисунках 2 и 3.

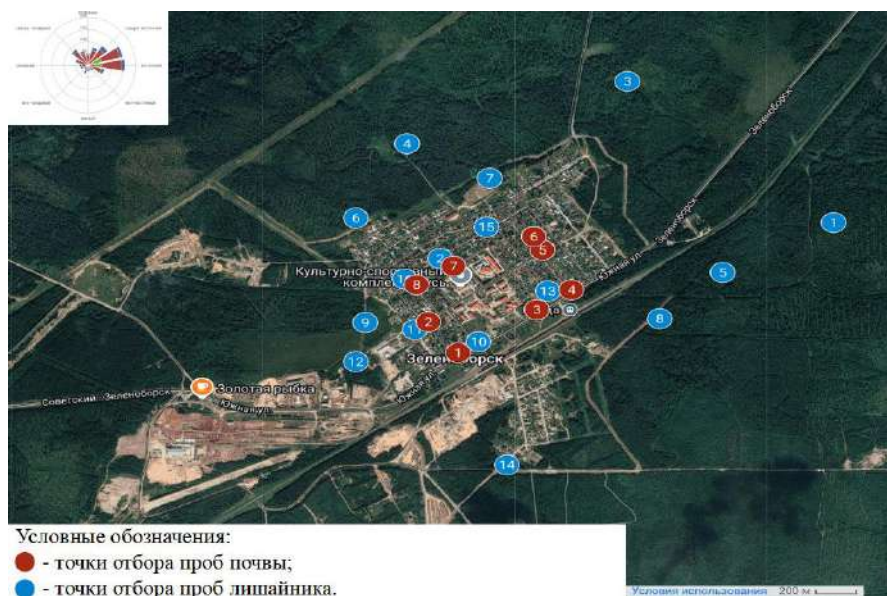


Рис. 1. Карта пробоотбора

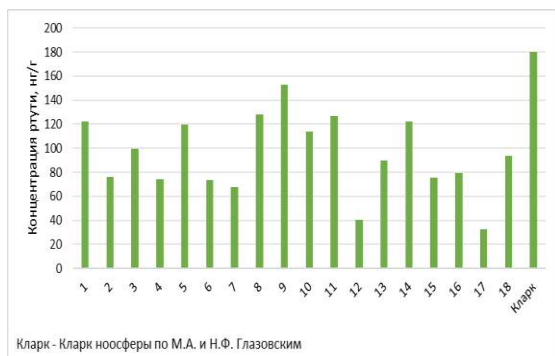


Рис. 2. Содержание Hg в лишайниках, нг/г

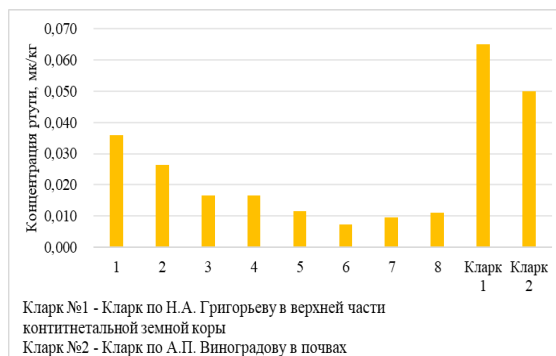


Рис. 3. Содержание Hg в почвах, мг/кг

Содержание ртути в образцах лишайников варьирует в диапазоне от 32,5 до 152,5 нг/г сухого вещества. Наибольшие показатели загрязнения зафиксированы в зонах непосредственной близости к промышленным объектам (лесозаготовительное предприятие, транспортные магистрали, теплоэнергетический комплекс). Для интерпретации данных использовались следующие данные: кларк ноосферы по Глазовским (1988), результаты мониторинговых исследований предыдущего года.

Почва является комплексной депонирующей средой, которая способна накапливать в себе различные вещества [5]. Содержания ртути в отобранных пробах почвы варьируют от 0,0073 до 0,0360 мг/кг. Превышение кларка во всех пробах отсутствует. Самые высокие значения ртути наблюдаются в точках, которые расположены вдоль автомобильной дороги.

Анализ показал, что ни один из образцов не превышает кларковых значений, однако в отдельных случаях наблюдалось увеличение содержания ртути относительно фоновых показателей. Подобная динамика может указывать на комплексное происхождение ртутного загрязнения, включающее как антропогенное воздействие, так и природные геохимические процессы. Также можно выявить взаимосвязь между содержанием ртути в пробе и её расположением относительно антропогенного источника загрязнения.

Литература

1. Ljubič Mlakar T. et al. Biomonitoring with epiphytic lichens as a complementary method for the study of mercury contamination near a cement plant // Environmental monitoring and assessment. – 2011. – Т. 181. – С. 225-241.
2. Буренков Э.К. Экологическая геохимия элементов. Справочник. Книга 1-6. – М.: Недра, Экология, 1994 – 1997.
3. Калманова В.Б., Коган Р.М. Особенности организации геоэкологического мониторинга средних и малых городов (на примере г. Биробиджан) // Региональные проблемы. – 2007. – № 8. – С. 144-149.
4. Курбатова А.С., Башкин В.Н. Экологические функции городских почв. – М.: Смоленск: Маджента, 2004.
5. Малютена С.А., Большунова Т.А., Чернышев К.Н. Содержание ртути в эпифитных лишайниках на территории природного комплекса «Золотые горы Алтая» // Проблемы геологии и освоения недр: труды XXV Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых учёных, посвященного 120-летию горногеологического образования в Сибири, 125-летию со дня основания Томского политехнического университета, Томск, 5-9 апреля 2021 г. Т. 1. –Томск, 2021. – Т. 1. – С. 379-382.

6. Минина Н.Н., Хабибуллина Х.Ш. Изучение загрязнения атмосферного воздуха автомобильным транспортом методом лишениоиндикации парка имени Ленина г. Бирск Республики Башкортостан // Заметки ученого. – 2019. – № 2. – С. 94-98.
7. Робертус Ю.В. и др. Ртуть в компонентах природной среды Республики Алтай // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2021. – Т. 332. – № 3. – С. 158-167.
8. Романов А.А. и др. Ртутное загрязнение в России: проблемы и рекомендации. – М.: АО «НИИ Атмосфера», Центр «ЭкоСогласие», IPEN. – 2018.

БИОТЕСТИРОВАНИЕ БЕНТОНитОВОЙ ГЛИНЫ МЕСТОРОЖДЕНИЯ 10-Й ХУТОР

Тукмачев Д.В.

Научный руководитель профессор Н.В. Гусева

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Множество концепций геологического захоронения радиоактивных отходов предполагают использование уплотненных материалов на основе глинистых минералов для заполнения пространства между вмещающей горной породой и металлическими контейнерами, содержащими отходы. Глинистые материалы обладают высокими барьерными свойствами для обеспечения долговременного хранения и захоронения радиоактивных отходов, а также для вывода из эксплуатации объектов ядерного наследия в качестве природных или инженерных барьеров безопасности [1].

Отечественный и зарубежный опыт использования глинистых материалов и результаты научно-исследовательских работ по изучению их свойств показали, что наиболее подходящими для создания инженерных барьеров безопасности являются бентонитовые и каолиновые глины, а также смеси на их основе [1].

Одним из ключевых свойств бентонита, способствующим его использованию в барьерных целях, является большой потенциал набухания при взаимодействии со свободной водой, что позволяет герметизировать любые пустоты, трещины и щели в ограниченной среде пункта изоляции радиоактивных отходов. Барьерный материал также должен обеспечивать устойчивую геохимическую систему с вмещающей геологической средой для предотвращения изменений состава и свойств пункта изоляции в целом.

Немаловажно, чтобы барьер безопасности сам не оказывал негативного воздействия на окружающую среду. В случае воздействия воды на глинистые материалы происходит растворение некоторых химических соединений и примесей, содержащихся в глинах. После этого возможен перенос легкорастворимых химических компонентов на одну из оболочек геосферы. Сами по себе глинистые минералы являются природными компонентами и не оказывают негативного воздействия на людей и окружающую среду, но производственная обработка и транспортировка полученного сырья может привести в их состав токсичные химические компоненты.

Цель работы – оценить токсичность глинопорошка, используемого в настоящее время для изоляции радиоактивных отходов, методом биотестирования. В качестве анализируемой среды было выбрано три образца бентонитового глинопорошка № 134, № 135, № 136, приготовленных из сырья, полученного на месторождении 10-й Хутор (Республика Хакасия).

Тест-объекты, по которым удобно анализировать токсичность среды представлены в данной работе одноклеточной зеленой водорослью хлорелла (*Chlorella vulgaris* Beijer) и равноресничной инфузорией (*Paramecium Caudatum* Ehrenberg).

Прежде чем проводить анализ биотестирования, из исследуемых образцов глин необходимо получить водные вытяжки. Были отобраны пробы глин с абсолютно-сухой массой 100 ± 1 г, помещены в колбу емкостью 1000 см³ и заполнены 4-кратным количеством дистиллированной воды относительно объема глины. Полученная смесь была перемешана на аппарате для встряхивания жидкости в течение двух часов, а затем оставлена для отстаивания на 30 минут. После установленного времени водная вытяжка фильтровалась через бумажные фильтры «белая лента». Все дальнейшие разбавления проводились при комнатных температурах с использованием дистиллированной воды.

Выращивание культуры водоросли *Chlorella vulgaris* Beijer проводилось в 50 %-ной среде Тамия на культиваторе КВ-05. Затем полученный раствор фильтровался через марлю и разводился 50 %-ной средой Тамия до получения оптической плотности равной $0,125 \pm 0,005$. Для измерения оптической плотности был использован прибор ИПС-03 [2].

Исследования водных вытяжек глин проводилось в концентрациях: 100, 33, 11, 3,7 и 1,2 %. Водоросли были замешаны по 2 см³ в 6 стаканов, содержащих 48 см³ раствора контроля и тестируемых водных вытяжек в различных концентрациях. Полученные разбавления водных вытяжек из стаканов переливались в кюветы по 6 см³. Для каждого варианта разбавления использовалось по четыре кюветы, включая контрольную пробу. Затем все 24 флакона устанавливались в культиватор КВ-05. После 22 часов культивирования производились замеры оптической плотности исследуемых проб и расчёт показателя токсичности. О степени острого токсического воздействия тестируемой воды на водоросли судят по разнице величины оптической плотности тест-культуры в контрольных и опытных вариантах после 22 часов выращивания в культиваторе КВМ-05 [2].

Критерием токсичности пробы воды является снижение средней величины оптической плотности по сравнению с контрольным вариантом на 20 % и более в случае подавления роста тест-культуры или ее повышение на 30% и более при стимуляции ростовых процессов. Качество тестируемой воды по результатам биотестирования с текст-объектом водоросли Хлорелла устанавливается на основе ее токсикологических характеристик через величину токсичной кратности разбавления вод и водных вытяжек согласно методике [2]. Для этого из результатов биотестирования разведений пробы воды, кратных трем, выбирают то разбавление, для которого индекс отклонения I превысил критерий токсичности воды.

Выращивание инфузорий проводилось в широкогорлой колбе объёмом 200 см³, в которую вносились суспензии инфузорий в среде Лозина-Лозинского в количестве 100 см³ с плотностью 1000±200 кл/см³. В качестве корма для инфузорий использовались дрожжи. Количество корма, необходимого для выращивания инфузорий, рассчитывалось исходя из соотношения - 1 мг на 1 см³ среды. Биотестирование проводилось в начале стационарной фазы роста инфузорий [3].

В кювету были внесены 2,0 см³ взвеси инфузорий в рабочей концентрации, предварительно проверенные по двум параметрам: по чувствительности к модельному токсиканту, и по характеру выхода в разбавляющую среду. В полученную взвесь было внесено 0,35 см 3–5%-го раствора ПВС в среде Лозина-Лозинского. Затем интенсивно перемешана и аккуратно наложена пипеткой 1,6 см³ анализируемой жидкости, не допуская перемешивания с нижним слоем. Тест-реакция протекала в течение 30 минут, после чего были произведены измерения концентраций инфузорий в верхней зоне кюветы на приборе серии «Биотестер». В качестве контрольных проб использовалась среда Лозина-Лозинского [3].

Оценку токсичности пробы производят по относительной разнице количества клеток в верхних зонах кювет в контрольной и анализируемой пробе. По результатам проведенного исследования с тест-объектом водоросли Хлорелла получены следующие результаты (табл. 1).

Таблица 1

Результаты по *Chlorella vulgaris* Beijer

№ образца	Безопасная кратность разведения	Качество водной вытяжки
134	21,8	Токсичная
135	2,7	Слаботоксичная
136	0,46	Не токсичная

Проба № 134 является токсичной, поскольку при разбавлении вытяжки из глин в 9 раз число микроорганизмов сократилось на 21,8 %. При этом без разбавления в пробе наблюдается повышение количества микроорганизмов. Проба № 135 является слаботоксичной, поскольку гибель микроорганизмов составила 32 % в варианте с 100 % водной вытяжкой глин. Проба № 136 является нетоксичной, поскольку гибель микроорганизмов составила 19 % в 100 % растворе водной вытяжки глин.

Данные по оценке токсичности с использованием инфузорий представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты по *Paramecium Caudatum* Ehrenberg

№ образца	Индекс токсичности пробы	Степень токсичности	Группа токсичности
134	разбавление в 2 раза: 0,34±0,15	Допустимая	I
135	-0,01±0,00	Допустимая	I
136	разбавление в 8 раз: 0,06±0,01	Допустимая	I

Исходные пробы № 134 и № 136 не пробивались прибором, поскольку были слишком мутными. Однако визуально все инфузории выходили в верхнюю зону кюветы, поэтому пробы считаются нетоксичными и индекс токсичности принимаем равным индексу токсичности, полученному при разведении в два раза – для пробы № 134, и по индексу токсичности, полученному при разведении в восемь раз – для пробы № 136. Величина индекса пробы № 135 классифицируется по степени токсичности как I – допустимая степень токсичности.

Анализируя полученные данные, можно сделать вывод, что водные вытяжки из образцов № 135 и № 136 не являются остро токсичными по реакциям хлорелл и инфузорий. Вытяжка образца № 134 не показала реакции на инфузориях, но при этом оказалась токсичной по отношению к хлорелле. В связи с этим вытяжка образца № 134 отнесена к классу опасности IV по значению кратности разведения. Подобная реакция обусловлена наличием токсичных примесей в образце, которые и оказали активное воздействие на тест-объект *Chlorella vulgaris* Beijer. Таким образом, необходимо проводить оценку безопасности самих природных и инженерных барьеров перед использованием в пунктах изоляции радиоактивных отходов для предотвращения возможных опасных последствий при их установке и эксплуатации.

Литература

1. Крупская В.В. и др. Обоснование выбора глинистых материалов для разработки инженерных барьеров безопасности при изоляции РАО в ПГЗРО на участке недр "Енисейский" / В.В. Крупская, Е.А. Тюпина, С.В. Закусин [и др.] // Радиоактивные отходы. – 2023. – № 2(23). – С. 98-112.
2. Методика определения токсичности питьевых, природных и сточных вод, водных вытяжек из почв, осадков сточных вод и отходов производства и потребления по изменению оптической плотности культуры водорослей хлорелла (*Chlorella Vulgaris* Beijer): ПНД Ф Т 14.1:2.3:4.10-04, Т 16.1:2.3:3.7-2004. – Москва, 2004 г. (Издание 2021 г.). – 46 с.
3. Методика определения токсичности проб почв, донных отложений и осадков сточных вод экспресс – методом с применением прибора серии «Биотестер»: ПНД Ф Т 16.2:2.2-98. – СПб.: ООО «Спектр-М», 2015. – 22 с.

ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ И СОСТАВА ТРАВЕРТИНОВ ТАЛОВСКИХ ЧАШ
(ТОМСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Турбов Э.Ш.

Научный руководитель доцент И.В. Вологодина

Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия

Травертины, или известковые туфы, имеют хемогенное происхождение и образуются в результате выпадения карбоната кальция из вод, обогащенных углекислым газом [2]. Факторы и условия образования травертиновых отложений являются предметом научных дискуссий, кроме того, современные исследования травертиногенеза позволяют прояснить и уточнить механизмы образования древних карбонатных пород. Травертины также являются источником информации о климате и окружающей среде во время их формирования.

В нашей исследовательской работе представлены результаты изучения микроструктурных особенностей травертинов, сформированных на юге Томской области.

Объектом исследования являются травертины Таловских чаш. Таловские чаши расположены примерно в 40 км к юго-востоку от Томска, в верховьях реки Басандайки, на правом склоне долины небольшой безымянной речки. В геологическом отношении источник приурочен к толще четвертичных отложений, представленных лессовидными суглинками [1]. По отношению к водному потоку изучаемые образования относятся к травертинам медленного течения, так называемые травертины источников. Томские травертины образуются преимущественно по мхам, реже по обломкам веток, опавшим листьям, травинкам [3].

Микроструктура и вещественный состав травертиновых построек были изучены с помощью аналитического сканирующего электронного микроскопа TESCAN Mira III LMU, совмещенного с системой анализа элементного состава материалов AZTEC ADVANCED на базе энергодисперсионного детектора «Ultim Max 40» (НИ ТГУ, аналитик Е.В. Корбвяк).

В результате проведенных исследований установлено, что среди моховых травертинов преобладают карбонатные и карбонатно-марганцевые образования. Предыдущими исследователями установлено, что марганецсодержащий минерал представлен бернесситом, карбонатные минералы – кальцитом [1].

Кальцитовые травертины имеют агрегатное строение с пористой текстурой (рис. 1, а). Агрегаты в поперечном сечении овальной формы размером до 1 мм. Выделяются межагрегатные поры округлой и щелевидной формы и внутриагрегатные щелевидные поры меньшего размера с неровными контурами. Размер поры около 0,15–0,2 мм и менее. Внутри агрегатов формируются поры округлой формы. Стенки пор имеют элементы зонального строения, что выражается в наличии зон, состоящих из мелкозернистых и микрозернистых (пелитоморфных) агрегатов кальцита (рис. 1, б). В целом, агрегаты состоят из пластинчатых микрокристаллов кальцита. Кристаллы ориентированы субпараллельно, вследствие чего агрегаты имеют довольно плотное строение. Видны ступеньки роста кристаллов (рис. 1, с).

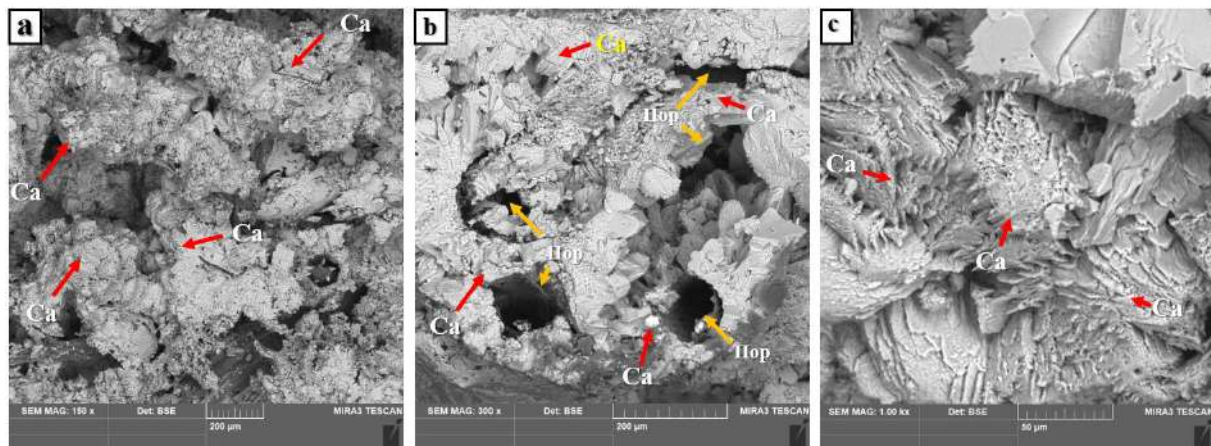


Рис. 1. Морфология кристаллов кальцита и структура порового пространства в кальцитовых травертинах (Таловские чаши, образец T03); РЭМ снимок в режиме BSE: а – межагрегатные поры, б – внутриагрегатные поры, с – строение агрегата. Условные обозначения: Ca – кальцит, Пор – поры.

Карбонатно-марганцевые травертины отличаются по строению от карбонатных, что связано с наличием бернессита в составе образований. Бернессит (англ. birnessite) – это сложный оксид марганца, который часто встречается в различных геологических обстановках, включая гидротермальные системы и осадочные отложения. Первые упоминания о присутствии бернессита в данном регионе связаны с исследованиями В.А. Баженова [1]. Структура бернессита и кальцита в травертиновых отложениях представляет особый интерес, поскольку позволяет проследить условия их формирования и взаимодействия между марганцем и кальцием в гидрогеохимической среде.

Для карбонатно-марганцевых образований характерно почковидное строение. На РЭМ-снимках (рис. 2, а) видно, что марганецсодержащий минерал (предположительно бернессит) образует небольшие, сгусткообразные скопления, которые контрастируют с более гладкими поверхностями участков кальцита. Размеры агрегатов достигает до 30 мкм, они покрывают кальцитовые агрегаты тонкой пленкой.

При больших увеличениях видны особенности строения округлых агрегатов бернессита (рис. 2, b, 2, c). Они образуются в результате срастания сфероидальных частиц размером до 30 мкм (рис. 2, c). Бернессит часто заполняет поровые пространства.

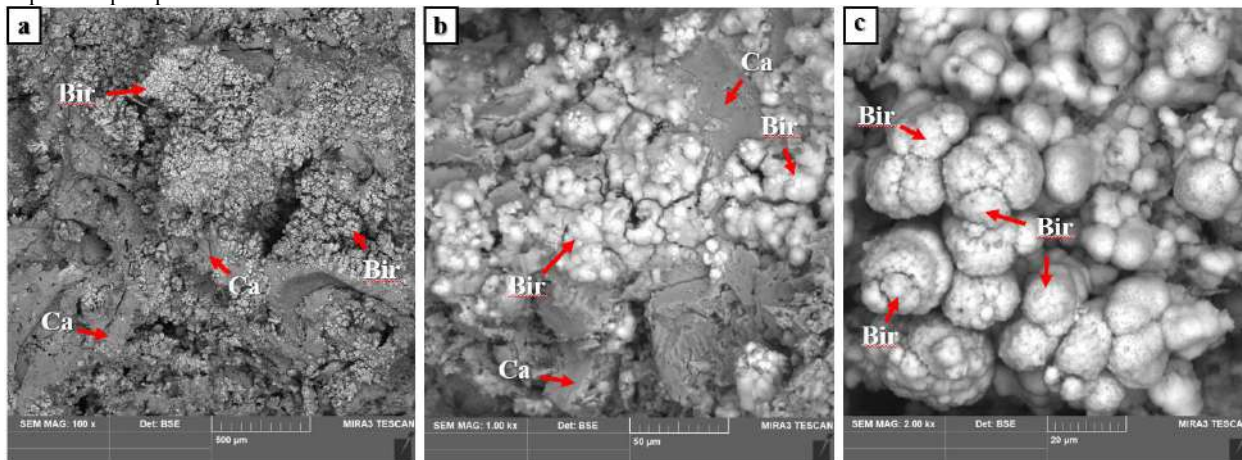


Рис. 2. Строение карбонатно-марганцевых травертин (Таловские чаши, образец Т01). РЭМ-снимок в режиме BSE: а – крабоватные (Ca) и марганецсодержащие минеральные фазы (Bir), б – строение агрегатов, с - сфероидальные агрегаты бернессита. Условные обозначения: Ca – кальцит, Bir – бернессит

В результате проведенных исследований установлено, что травертины Таловских чаш представляют собой сложные по составу и строению образования, что обусловлено различием химического состава подземных вод которыми связано их образование.

Литература

1. Баженов В.А., Соколова М.Ф. Бернессит в травертинах Томской области // Вопросы генезиса эндогенных месторождений. Минералогия и геохимия. – Л: ЛГУ. – 1988. – № 7. – С. 157-163.
2. Петрова О.Е., Копылова Ю.Г., Мартынова Т.Е. Геохимические условия травертинообразования (на примере бассейна р. Тугояковка) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2002. – Т. 305. – № 6. – С. 304-319.
3. Уткин Ю.В. Классификация травертинов междуречья Малая Ушайка-Тугояковка (Томская область) // Проблемы географии на рубеже XXI в.: материалы всероссийской научной конференции. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2000. – С. 197-199.

МОРФОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РЕЛЬЕФА ТАШЛИНСКОГО РАЙОНА ОРЕНБУРГСКОЙ ОБЛАСТИ С ЦЕЛЬЮ ОЦЕНКИ РАЗВИТИЯ ЭРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ Храмов А.Е.

Научный руководитель доцент Н.П. Соболева

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Морфометрический анализ – это один из методов геоморфологических исследований, в котором количественные характеристики форм рельефа изучаются с помощью специальных измерений [4]. Широкие возможности для морфометрического исследования представляют цифровые модели местности. Проведенный на их основе анализ морфометрических показателей (крутизна склонов, длина и густота оврагов и т.д.) позволяет определить типы эрозии и ее интенсивность, идентифицировать зоны повышенной опасности, оценить эффективность противоэрозионных мероприятий и прогнозировать дальнейшее развитие эрозионных процессов. Полученные данные служат основой для разработки стратегий управления земельными ресурсами и предотвращения негативных последствий разрушения почвы. Наиболее подверженными эрозии являются сельскохозяйственные земли, особенно распаханые. К таковым относится Ташлинский район, расположенный на юго-западе Оренбургской области и занимающий площадь 3,4 тыс. км² [2]. Рельеф района неоднородный, делится на 3 полосы: северная – холмисто-увалистая, сложена песчаниками, алевролитами и аргиллитами; центральная – равнинная, сформирована неогеновыми отложениями; южная – современная долина реки Урал с широкими надпойменными террасами.

Крупнейшим сектором экономики района является агропромышленный комплекс, сформировавшийся на основе богатых земельных ресурсов, обусловленных расположением в пределах природной зоны степей. Основной фондовый образуют черноземы южные [3]. На северных окраинах района распространены их солонцеватые разновидности в комплексе с солонцами. Достаточную площадь занимают аллювиальные почвы в пойме реки Урал. По механическому составу 70 % почв глинистые и суглинистые. В структура землепользования большую часть занимают пашни (56 %), ощутимая доля приходится на пастбища и сенокосы (32 %).

Для морфометрического анализа рельефа исследуемой территории использовалась SRTM-модель, на основе которой с помощью программного пакета ArcGIS 10 (ESRI Inc.) были построены гипсометрическая карта и карта уклонов (крутизны) поверхности (рис. 1).

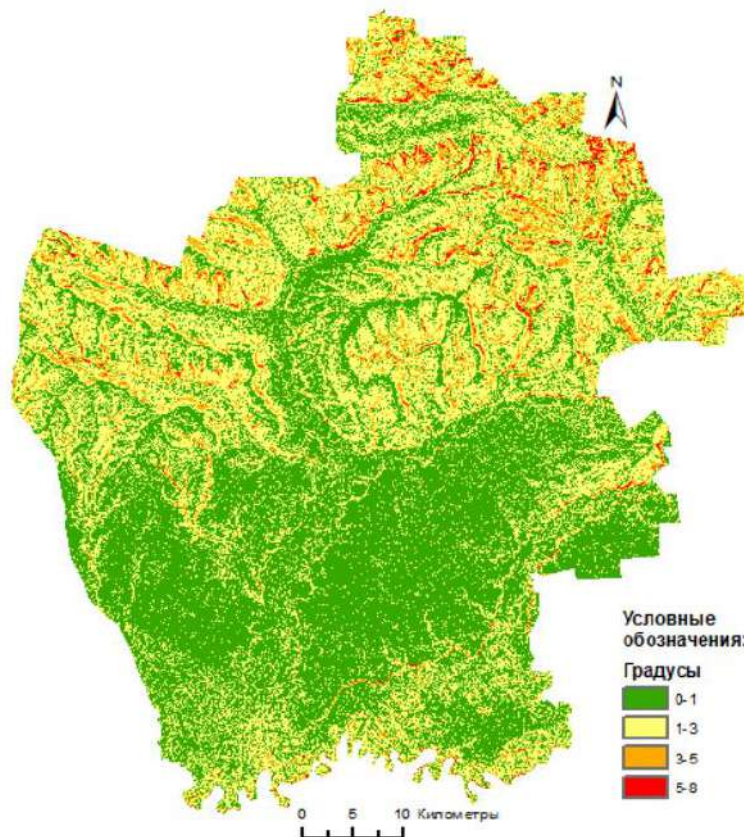


Рис. 1. Карта уклонов поверхности территории Ташлинского района

Крутизна склона напрямую влияет на интенсивность эрозии, более крутые склоны ускоряют поверхностный сток, увеличивая кинетическую энергию воды, способную вымывать почву. Быстрый сток снижает инфильтрацию, концентрируется в руслах, усиливая эрозию в отдельных зонах. На пологих склонах эрозия протекает медленнее, но длительное воздействие воды всё же может привести к значительным потерям почвы.

В основу типизации крутизны склонов с целью определения степени эрозионной опасности исследуемой территории взята классификация пашни по степени эродированности почв и уклона О.Г. Котляровой [1], где поверхности с уклоном до 1° относятся к склонам с несмытыми почвами, $1-3^\circ$ – эрозионно-опасные, $3-5^\circ$ – слабосмытые, $5-8^\circ$ – средние и сильносмытые.

Карта распределения участков с различными уклонами поверхности Ташлинского района демонстрирует четкую зональность. В северной холмисто-увалистой части, сложенной песчаниками, алевролитами и аргиллитами, преобладают участки эрозионно-опасные, со слабосмытыми и, в меньшей степени, средне- и сильносмытыми почвами. По направлению к югу, в равнинной части на неогеновых отложениях, доля территорий с почвами, подверженными эрозии, уменьшается, при этом увеличивается доля несмытых почв. В южной части района, в долине реки Урал с её террасами, участки с несмытыми почвами составляют подавляющее большинство. Таким образом, карта отражает тесную связь между рельефом и степенью подверженности эрозионным процессам.

На рисунке 2 для исследуемого района представлено соотношение площадей с почвами различной эрозионной опасности. Проанализировав карту и диаграмму, можно сделать вывод, что на территории Ташлинского района преобладают несмытые почвы, составляющие почти половину от общей площади, свидетельствуя о сравнительно низком уровне эрозии в целом. Тем не менее, значительная часть почв (43 %) является эрозионно опасной, потенциально подверженных интенсивной эрозии. Доля слабо и сильносмытых почв составляет небольшую часть (8 %), что указывает на ограниченное распространение интенсивных эрозионных процессов в районе. В целом, ситуацию в Ташлинском районе можно охарактеризовать как относительно благоприятную, хотя существенная доля эрозионно-опасных земель требует внимания и профилактических мер.

Однако, анализ только одного параметра «крутизна склона» не может в полной мере описать все геоморфологические условия, влияющие на эрозионные процессы. Поэтому в дальнейшем сочетание результатов морфометрического анализа территории с дополнительными параметрами позволит более точно выделить участки Ташлинского района, наиболее опасные с точки зрения возникновения эрозионных процессов, что имеет важное значение для ведения устойчивого землепользования в условиях активной сельскохозяйственной деятельности.

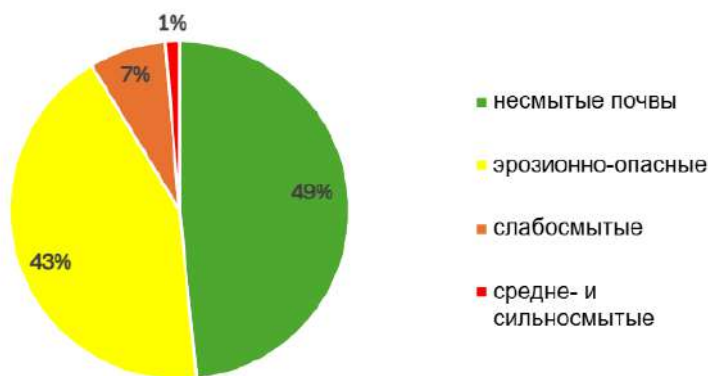


Рис. 2. Распределение почв по степени эрозионной опасности

Литература

1. Котлярова О.Г. Ландшафтная система земледелия Центрально-Черноземной зоны. – Белгород: Изд-во Белгородской ГСХА, 1995.
2. Муниципальное образование Ташлинский район Оренбургской области, официальный сайт [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://tl.orb.ru>.
3. Национальный атлас России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://nationalatlas.ru>.
4. Симонов Ю.Г. Морфометрический анализ рельефа. – 1998.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ФИТОТОКСИЧНОСТИ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОЧВЕ НА МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ГОРЦИЦЫ БЕЛОЙ (*SINAPIS ALBA* L., 1753)

Чаптаров Д.В.

Научный руководитель доцент С. В. Азарова

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Загрязнение почв редкоземельными элементами (РЗЭ) – это актуальная экологическая проблема, связанная с увеличением их использования в высокотехнологичных отраслях промышленности, таких как электроника, энергетика, автомобилестроение [2]. РЗЭ включают в себя 17 химических элементов (лантаноиды, скандий и иттрий), которые, несмотря на свое название, достаточно широко распространены в природе, но часто в низких концентрациях. Основные источники загрязнения – добыча и переработка руд, промышленные выбросы, электронные отходы и сельскохозяйственные удобрения. РЗЭ нарушают физико-химические свойства почвы, снижая ее плодородие, и подавляют активность почвенных микроорганизмов, что нарушает круговорот питательных веществ. Они накапливаются в растениях, вызывая токсические эффекты, такие как замедление роста и снижение урожайности. Через пищевые цепи РЗЭ попадают в организмы животных и человека, где могут вызывать повреждение печени, почек и костной ткани. Долгосрочное накопление РЗЭ в экосистемах приводит к снижению биоразнообразия и необратимым изменениям. Для снижения воздействия применяются фиторемедиация, рециклинг отходов и мониторинг содержания РЗЭ в окружающей среде [3].

Несмотря на активное использование и изучение РЗЭ, их влияние на живые организмы до сих пор остается недостаточно изученным [2]. Токсичность для живых систем, в основном, определяют с помощью биотестирования. Биотестирование – это классическая экспериментально-методическая оценка токсикологических параметров живых систем (целых организмов или их частей) после воздействия анализируемых объектов [5].

Целью данной работы является выявить фитотоксичное воздействие Sm, La и Ce на морфометрические параметры растения горчица белая (*Sinapis alba* L., 1753).

Объекты и методы исследования. В данной работе для оценки воздействия лантаноидов на рост и развитие растений мы использовали стандартизированную методику по ГОСТ Р ИСО 22030-2009 [1]. Как биоиндикатор использовали горчицу белую. В качестве объекта исследования использовалась серая лесная среднесуглинистая почва в качестве почвенного субстрата, искусственно загрязненная лантаноидами. Для моделирования фона загрязнения РЗЭ в почву были внесены Sm, La и Ce по 20 мг на 1 кг почвы. Объем вегетационных сосудов составил 1,5 л, а массы почвы в каждом сосуде – 500 г. Повторность опыта трехкратная. В конце опыта измеряли морфометрические параметры.

Для оценки полученных экспериментальных данных используется метод статистического анализа. Для нахождения интервала значений, в пределах которого с определенной вероятностью находится истинное значение параметра, используется метод доверительного интервала. Данные представляются в виде среднего и его ошибки. Достоверность различий данных в вариантах опыта и в контроле оцениваются по критерию Стьюдента.

Обсуждение результатов. В результате опыта были получены данные по следующим показателям: длина стебля, всхожесть, количество листьев. Анализируя полученные данные о влиянии РЗЭ на рост и развитие растений, были получены следующие результаты.

Длина стебля: в контрольной группе с чистой почвой высота стебля составляет 6,95 см, что меньше на 19 %, чем в варианте с Sm, и на 4 % меньше, чем в варианте с La, но данные значения находятся в пределах погрешности. Отрицательный рост наблюдается в варианте с Се, длина стебля меньше, чем в контрольном варианте на 46,3 %. Это указывает на отрицательное влияние церия на рост стебля (рис. 1).

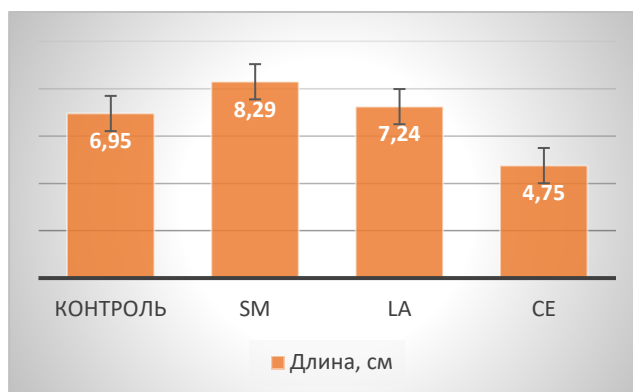


Рис. 5. Зафиксированная длина надземной части растений-индикаторов в вариантах исследования

Количество листьев: в контрольной группе среднее количество листьев составляет 5,37, а в вариантах с Sm и La эти значения равны 5,67 и 5,82, что является несущественной разницей и значения находятся в пределах погрешности. В варианте с Се среднее количество листьев составляет 4,58, что меньше контрольных значений на 14,7 %, что может указывать на негативное влияние церия (рис. 2).

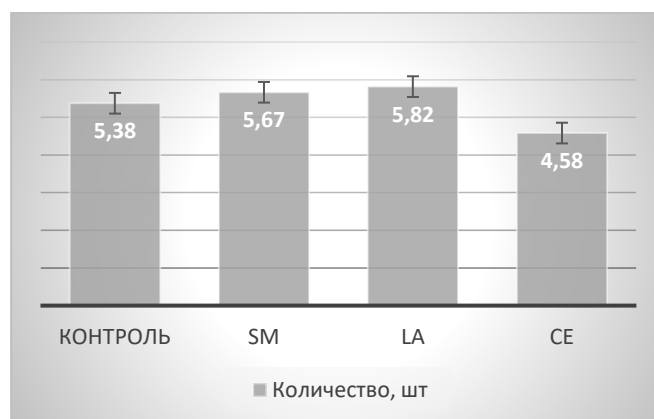


Рис. 6. Зафиксированное среднее количество листьев на растениях в вариантах исследования

Всхожесть. По сравнению с контролем (77 %), меньше всего показал себя результат с Се (23 %) и Sm (43 %), что может свидетельствовать на негативное влияние этих элементов на всхожесть растений (рис. 3).

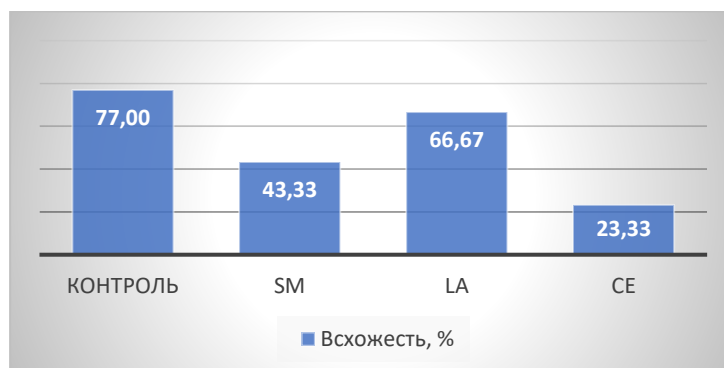


Рис. 7. Показатель всхожести растений в каждом из вариантов

Таким образом, проведенный эксперимент по изучению влияния РЗЭ на рост и развитие горчицы выявил, что Се оказывает наиболее выраженное негативное воздействие, снижая длину стебля на 46,3 %, количество листьев на 14,7 % и всхожесть до 23 % по сравнению с контролем. Но если посмотреть на результаты других работ, изучающие фитотоксичность Се, в малых дозах он может стимулировать рост растения [5]. Sm и La демонстрируют нейтральное

или слабостимулирующее влияние, хотя Sm также снижает всхожесть до 43 %. Полученные данные указывают на токсичность Се и необходимость дальнейших исследований для оценки долгосрочного воздействия РЗЭ на растения и почвенные экосистемы.

Литература

1. ГОСТ Р. 22030-2009. Качество почвы // Биологические методы. Хроническая фитотоксичность в отношении высших растений. – 2010. – С. 3-4
2. Gonzalez, V., Vignati, D.A., Leyval, C., Giamberini, L. Environmental fate and ecotoxicity of lanthanides: are they a uniform group beyond chemistry? // *Environment international*. – 2014. – V. 71. – P. 148-157.
3. Hu Z., Haneklaus S., Sparovek G., Schnug E., Rare earth elements in soils // *Communications in soil science and plant analysis*. – 2006. – Т. 37. – № 9-10. – С. 1381-1420.
4. Ramos, S. J. et al. Rare earth elements in the soil environment // *Current Pollution Reports*. – 2016. – Т. 2. – С. 28-50
5. Redling, K. Rare earth elements in agriculture with emphasis on animal husbandry: PhD dissertation / Kerstin Redling. – Munich, Germany, 2006. – 360 p.
6. Terekhova, V. A. Biotesting of soil ecotoxicity in case of chemical contamination: modern approaches to integration for environmental assessment (a review) // *Eurasian Soil Science*. – 2022. – V. 55. – № 5. – P. 601-612.

МХИ И ЛИШАЙНИКИ КАК БИОИНДИКАТОРЫ В ГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Чжан Я.^{1,2}

Научный руководитель с.н.с М.Ю Кропачева¹

¹*Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск, Россия*

²*Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск, Россия*

Биоиндикация в геохимии – это метод, основанный на использовании живых организмов в качестве индикаторов для оценки состояния окружающей среды и выявления изменений в геохимических процессах. Этот подход широко применяется в мониторинге загрязнения, анализе почв, изучении геохимических процессов, отслеживании климатических изменений и оценке качества воды. Использование биоиндикации позволяет не только зафиксировать наличие загрязнителей, но и провести их количественную оценку, что делает этот метод ценным инструментом экологического контроля.

Мхи и лишайники – две важнейшие группы организмов. С 1970-х гг. их активно используют в качестве индикаторов загрязнения окружающей среды, особенно воздуха [2]. В отличие от высших растений, мхи и лишайники не имеют корневой системы, а основные питательные вещества получают из атмосферных осадков. Отсутствие защитной кутикулы делает их уязвимыми к воздействию окружающей среды, позволяя напрямую поглощать ионы из воздуха, дождевой воды и снега. Медленный рост этих организмов способствует эффективному накоплению загрязняющих веществ, что делает их ценными объектами экологического контроля [1]. Хотя и мхи, и лишайники являются эффективными биоиндикаторами загрязнения воздуха, их применение варьируется в зависимости от специфики геохимических задач. Благодаря различиям в строении и экологии (например, эпифитные и неэпифитные формы), мхи более чувствительны к быстрым изменениям окружающей среды, что делает их полезными для оперативного мониторинга. В то же время лишайники, обладая способностью накапливать загрязняющие вещества в течение длительного времени, лучше подходят для оценки долгосрочных изменений в экологической обстановке [3].

В 2021 и 2022 гг. мы отбирали пробы мхов и лишайников в ленточном бору, расположенном в 6,5 км к северу от села Панкрушиха (Алтайский край). В лабораторных условиях при комнатной температуре образцы были разделены на три части: верхнюю, среднюю и нижнюю. Анализ валовых концентраций элементов проводился с использованием метода индуктивно-связанной плазменной атомной эмиссионной спектроскопии (ИСП-АЭС) в ЦКП Многоэлементных и изотопных исследований СО РАН.

Динамика изменения валовых концентраций элементов для мхов и лишайников в разных частях биоиндикаторов отличается. В случае мхов наблюдается единая закономерность: если в один год концентрация элементов в верхних частях выше, чем в другой год, то аналогичные изменения происходят и в средней, и в нижней частях, различаясь лишь степенью выраженности. При этом, чем ниже расположена часть мха, тем сильнее выражена разница между годами (рис. 1, а). Для лишайников подобная тенденция не выявлена. В большинстве случаев концентрации элементов в нижней части таллома со временем выравниваются, и их соотношение в разные годы стремится к 1. Для некоторых элементов значительные колебания концентраций фиксируются лишь в верхней или только в средней части таллома (рис. 1, б).

Различия в распределении концентраций элементов обусловлены особенностями морфологии биоиндикаторов. Нижняя часть моховой подушки имеет значительно меньшую плотность по сравнению с талломом лишайника, что влияет на накопление элементов. Сходные концентрации элементов у мхов и лишайников наблюдаются преимущественно в их верхних частях, тогда как в нижних частях различия становятся более выраженными.

Анализируя степень изменения концентраций элементов у мхов и лишайников, можно отметить, что у мхов эти изменения выражены сильнее, особенно в верхних и нижних частях. Это свидетельствует о высокой чувствительности мхов к изменениям окружающей среды. В то же время концентрации элементов у лишайников изменяются в меньшей степени, что указывает на их большую стабильность в различных экологических условиях.

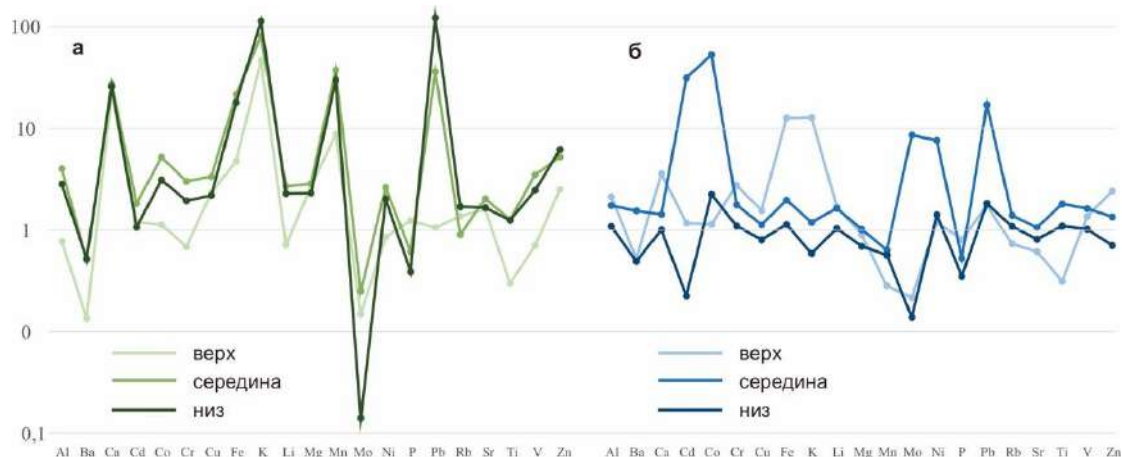


Рис. 1. Отношение валовых концентраций элементов в 2021 году к 2022 году: а) мох; б) лишайник

Таким образом, наше исследование подтвердило, что мхи являются более подходящими биоиндикаторами для мониторинга краткосрочных изменений в окружающей среде, тогда как лишайники лучше отражают долгосрочные процессы. Наиболее эффективным подходом является их комплексное использование, позволяющее получать более полную тенденцию изменений.

Хотя двухлетний период наблюдений недостаточен для окончательных выводов, предварительные результаты указывают на то, что мхи и лишайники могут применяться для решения различных задач мониторинга. В случае мхов любая их часть отражает атмосферные выпадения и динамику их изменений во времени. У лишайников же такую функцию выполняет только верхняя часть, тогда как нижняя отражает фоновый геохимический состав среды, в которой развивается таллом.

Работа выполнена по государственному заданию ИГМ СО РАН (№ 122041400193–7)

Литература

1. Bargagli R., Brown D.H., Nelli L. Metal biomonitoring with mosses: procedures for correcting for soil contamination // Environmental Pollution. – 1995. – Т. 89. – № 2. – С. 169-175.
2. Giordano S. et al. Bags with oven-dried moss for the active monitoring of airborne trace elements in urban areas // Environmental Pollution. – 2009. – Т. 157. – № 10. – С. 2798-2805.
3. Comparison of Lichens and Mosses as Biomonitors of Airborne Microplastics [Текст] / M. Jafarova, L. Grifoni, A. Julian, S. Loppi // Atmosphere. – 2023. – V. 14. – Is. 6. – 1007.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РАСТВОРЕННОГО ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА МЕЖДУ ЭКОСИСТЕМАМИ ОЛИГОТРОФНОГО БОЛОТА (МЕЖДУНАРОДНЫЙ ПОЛЕВОЙ СТАЦИОНАР «МУХРИНО», ЗАПАДНАЯ СИБИРЬ) Шанёва В.С.

Научный руководитель с.н.с. Е.А. Заров

Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск, Россия

Ландшафт представляет собой неоднородную мозаику из различных геологических пород, почв и растительности, что приводит к изменениям в химическом составе вод различных экосистем [3]. Особым типом ландшафтов являются болота, где органическое вещество после отмирания растительности не разлагается полностью, а в виде торфа. Известно, что видовой состав растительного покрова на болотах и формируемый ими опад оказывают влияние на условия формирования и функционирование территории, что может способствовать образованию и увеличению концентрации органического углерода. Растворенный органический углерод (РОУ) является важным компонентом экосистем благодаря его воздействию на продуктивность, круговорот элементов и химический состав воды. В состав РОУ входит множество органических соединений, начиная от простых органических кислот и заканчивая сложными молекулами, такими как гуминовые и фульвокислоты [1]. Различные источники РОУ в почвах водосборного бассейна могут иметь разные химические характеристики, что влияет на состав РОУ.

Следует отметить, что гидрохимические показатели, такие как pH и электропроводность (ЕС) могут сдвигать свои значения с изменением климата за счет перераспределения осадков и температурных аномалий. В свою очередь это может влиять на состав и концентрации РОУ в болотных водах [2]. Значение pH определяет скорость высвобождения органического углерода, поскольку оно влияет на сорбцию и растворимость соединений. При этом показатель электропроводности свидетельствует о наличии растворенных соединений в воде.

Отбор проб воды производился в летний период 2023 года на глубинах 10-20 см в 5 разных экосистемах. Открытое болото – с преобладанием *Sphagnum*, *Oxycoccus*, *Chamaedaphne calyculata* L.; грядово-мочажинный комплекс – *Sph. fuscum*, *Sph. balticum*, *Andromeda polifolia* L., *Scheuchzeria palustris* L., *Vaccinium uliginosum* L.; грядово-

топяной комплекс – *Sph. fuscum*, *Sph. magellanicum*; рямово-мелкомочажинный комплекс – *Andromeda polifolia* L., *Eriophorum vaginatum* L., *Oxycoccus*, *Carex*, *Sphagnum*; типичный рям – *Ledum palustre* L., *Rubus chamaemorus* L., *Sphagnum*, *Vaccinium vitis-idaea* L.

Электропроводность (ЕС) водной среды в торфяниках и заболоченных ландшафтах Западной Сибири, тесно связана с концентрацией растворенных ионов, образующихся в результате деструкции органического вещества. В условиях анаэробного разложения растительных остатков и торфа происходит высвобождение низкомолекулярных органических кислот, гуминовых веществ и катионов (Na^+ , K^+ , Ca^{2+}), что существенно повышает ионную силу водных растворов и, как следствие, их электропроводность.

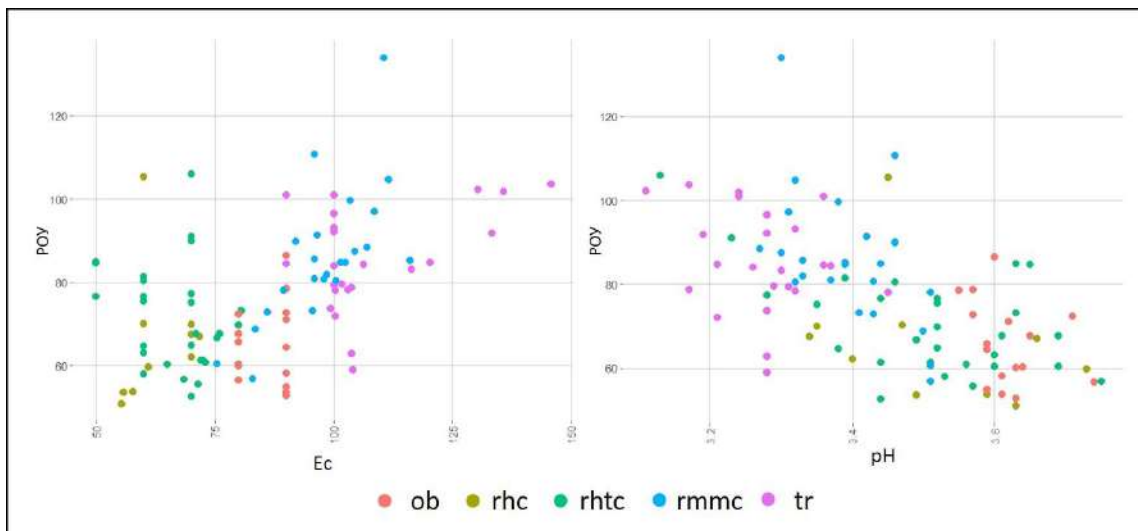


Рис. Зависимость показателей электропроводности (ЕС, $\mu\text{S}/\text{см}$) и pH от концентрации растворенного органического углерода (РОУ, мг/л). Экосистемы: ob- открытое болото, rhc- грядово-мочажинный комплекс, rhtc- грядово-топяной комплекс, rmmc- рямово-мелкомочажинный комплекс, tr- типичный рям.

Проведенный анализ выявил значимые различия в гидрохимических характеристиках исследуемых болотных комплексов, отражающих специфику их функционирования различных экосистем. Для открытого болота характерны относительно высокие значения pH 3,55–3,71 на фоне минимальных концентраций РОУ 52,78–86,56 мг/г и средних значений ЕС 80–90 $\mu\text{S}/\text{см}$. Грядово-мочажинные комплексы имеют более кислую среду pH 3,11–3,75 и низкие показатели ЕС с сильным разбросом концентрации РОУ 52,72–134,03 мг/г. Почти идентичные показатели в грядово-топяном комплексе низкие показатели электропроводности и концентрации РОУ, но с высоким pH. Максимальная концентрация РОУ в рямово-мелкомочажинном комплексе 56,89–134,03 мг/г, что предположительно связано с низким УБВ. Наибольшая вариабельность электропроводности зафиксирована в типичном ряме ЕС 90–145,7 $\mu\text{S}/\text{см}$.

На основании полученных результатов было выявлено закономерное увеличение концентрации РОУ с повышением показателя ЕС, что свидетельствует о вкладе растворенной органики в формирование электропроводности. Взаимосвязь концентрации РОУ с показателем pH имеет обратную направленность – наиболее высокие значения РОУ характерны для наиболее кислых условий среды.

Установленные закономерности подчеркивают ключевую роль ландшафтной неоднородности в выносе РОУ. Полученные данные подтверждают, что болотные экосистемы Западной Сибири функционируют как динамичные системы, где незначительные изменения pH и ЕС влияют на биогеохимические циклы и на глобальный углеродный цикл. Исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ, проект № 25-27-00272 «Вынос растворенного органического вещества и сопряженных с ним микроэлементов из верхового болота, его трансформация в гидрологическом континууме»

Литература

1. Aitkenhead J. (1999). The relationship between dissolved organic carbon in stream water and soil organic carbon pools at different spatial scales/ D. Hope, F. Billett F. // *Hydrological Processes*. – 1999. – V. 13(8). – P. 1289-1302.
2. Worrall F. Production vs. solubility in controlling runoff of DOC from peat soils/ H. Gibson H., T. Burt // *The use of an event analysis. Journal of Hydrology*. – 2008. – V. 358(1-2). – P. 84-95.
3. Zarov E. Water table and dissolved organic carbon seasonal dynamic at the different ecosystems of the ombrotrophic bog (Mukhrino, West Siberia) / Anastasiia V. Meshcheryakova, Viktoria S. Shanyova, Vitaliy Yu. Khoroshavin // *Smart and Sustainable Cities Conference*. – Cham: Springer Nature Switzerland. – 2022. – P. 169-180.

СОДЕРЖАНИЕ РТУТИ И ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ОРГАНАХ И ТКАНЯХ РЫБ ВОДОЕМОВ АЛТАЯ

Шкригун А.А.

Научный руководитель доцент Н.А. Осипова Н.А., консультант А.В. Торопов
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Рыбы занимают в биоценозах водных экосистем верхний трофический уровень и обладают ярко выраженной способностью накапливать элементы, в том числе токсичные. Потребляемая в пищу рыба с местных водоемов может послужить угрозой для человека. Поэтому необходимы сведения о геохимии основных промысловых видов рыб – речного окуня и щуки водоемов Алтая. Выявление геохимических особенностей речных рыб, в частности, содержание ртути, представляет важную и своевременную задачу.

Цель работы – изучение геохимических особенностей речных рыб водоемов Алтая. Для решения данной цели были поставлены следующие задачи:

- изучить и сравнить содержание ртути в органах и тканях речных рыб (окунь, щука);
 - построить и проанализировать ряды ранжирования содержания ртути в органах и тканях рыб.
- Основными причинами выбора объектов для анализа стали следующие факторы:
- организм аккумулирует токсичные вещества, делая его индикатором загрязнения экосистем;
 - оседлый образ жизни с ограниченной миграцией позволяет точно определить степень антропогенного воздействия в конкретной локации;
 - высокая численность популяции свидетельствует о её стабильности и адаптации к изменениям среды;
 - длительный жизненный цикл способствует накоплению токсинов, что делает организм ценным для мониторинга экологии;
 - организм рыб репрезентативен для оценки загрязнения по морфофизиологическим и экосистемным параметрам [2, 3].

Экосистемы стремятся к самоочищению с помощью гидродинамических, физико-химических, микробиологических и гидробиологических процессов. Особенно эффективно они справляются с органическими загрязнителями.

Микроорганизмы способны перерабатывать большинство органических веществ, но их активность может быть подавлена химическими загрязнителями, такими как тяжёлые металлы, пестициды и нефтепродукты. Это снижает способность водоёма к самоочищению. Содержание ртути в органах и тканях рыб определяется условиями обитания, химическим составом воды, природными и техногенными факторами [1, 4, 5].

В ходе работы были отобраны четыре партии проб в водоемах Алтайского края, изучены 10 особей. Партия один отобрана в реке Бия, в г. Бийск, нижней его части. Партия два отобрана в 60 км от г. Бийск, в пойме реки Бия, населенный пункт с. Соусканиха. Партия три отобрана в реке Курья, с. Клéпиково в Усть-Пристанском районе. Партия четыре отобрана в протоке Малышевская, ниже устья Заломной (Старая Обь). Пробы отобраны рыбаками «Алтайского рыболовного клуба».

Каждую особь очищали от чешуи. Далее извлекали органы, отделяли костную и мышечную ткань и высушивали их до постоянной массы. Далее образцы измельчали и приступали к измерениям.

Количественный анализ образцов органов и тканей отобранных проб проводился атомно-абсорбционным методом (ртутный анализатор РА-915+ с приставкой ПИРО-915).

На рисунке 1 показано содержание ртути в изученных пробах. Средние содержания ртути в пробах рыбы (мышечная ткань) равны, соответственно: 862,6 нг/г (р. Бия, нижнее течение); 598,0 нг/г (протока ниже с. Соусканиха); 816,6 нг/г (с. Клéпиково); 948,4 нг/г (протока Малышевская). Содержание ртути в пробах рыбы второй партии значительно ниже, чем в остальных.

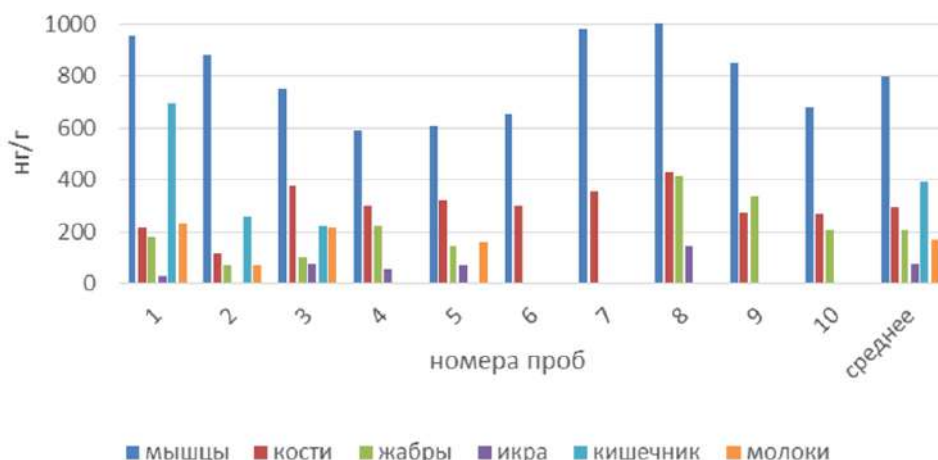


Рис. 1. Содержание ртути в органах и тканях рыб

Наибольшие концентрации Hg приходятся на мышечную ткань, это может быть связано с наличием серосодержащих аминокислот и белков, способствующих связыванию, а также условиями обитания и формой трофического взаимодействия (рис. 2).

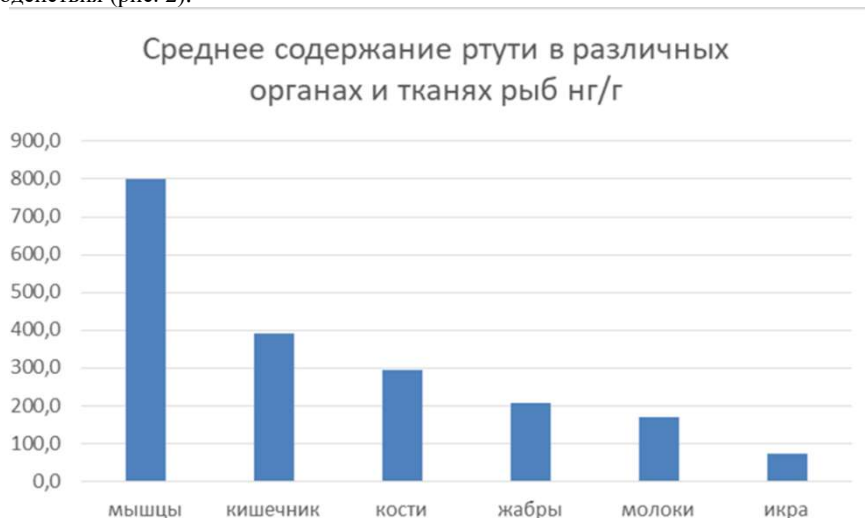


Рис. 2. Среднее содержание в различных органах и тканях рыб

По уменьшению содержания ртути в рыбе (рис. 2) органы и ткани рыб (как щуки, так и окуня) располагаются в следующем ряду (нг/г): мышцы (799,4) > кишечник (391,2) > кости (296,6) > жабры (208,7) > молоки (169,3) > икра (74,9).

Аминокислоты, содержащиеся в мышечной ткани, благодаря наличию серы способны образовывать прочные связи с ртутью. Именно поэтому содержание ртути в мышечной ткани выше, чем в других органах и тканях.

Автор выражает благодарность ассоциации патриотического воспитания «Хозяин своей Земли» за помощь в постановке задач исследования и обработке данных, и «Алтайскому рыболовному клубу» за отбор проб.

Литература

1. Надвоцкая В.В., Тимофеев В.В. Использование хроматографического анализа для контроля загрязненности поверхностных водных объектов / Вестник КамчатГТУ. – 2025. – № 71. – С. 61-71.
2. Попов П.А. К Экологии щуки (*esox lucius*) реки Оби // Известия Алтайского отделения Русского географического общества. – 2021. – № 1 (60). – С. 76-90.
3. Попов П.А. К экологии речного окуня (*Perca fluviatilis* Linnaeus, 1758) из водоемов Сибири // Известия Алтайского отделения Русского географического общества. – 2017. – № 3 (46). – С. 109-120.
4. Сухенко С.А. Ртуть в водохранилищах: новый аспект антропогенного загрязнения биосферы // Экология. Серия аналитических обзоров мировой литературы. – 1995. – № 36. – С. 1-54.
5. Dragan F. et al. The threat of mercury poisoning by fish consumption // Applied Sciences. – 2022. – Т. 13. – № 1. – С. 369.

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОЗЁРНОГО САПРОПЕЛЯ В КАЧЕСТВЕ СОРБЕНТА ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ КОМБИНАТОВ

Яковлев Н.М.¹, Горюнова Т.В.²

Научный руководитель доцент Ю.Д. Смирнов¹

¹Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,
г. Санкт-Петербург, Россия

²Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
г. Санкт-Петербург, Россия

Вода является неотъемлемым компонентом, участвующим в процессах обогащения рудного сырья. В технологической цепочке она выполняет роль среды, в которой происходит разделение ценных компонентов и хвостов, роль транспорта измельчённых продуктов, а также роль теплоносителя. Негативным эффектом производственной деятельности является загрязнение воды тяжёлыми металлами. Неконтролируемый сброс загрязнённых сточных вод в водные объекты со временем приводит к утрате их хозяйственной ценности, поэтому горнопромышленные предприятия проводят очистку сточных вод до установленных нормативов. Одним из эффективных способов очистки сточных вод от тяжёлых металлов является сорбция. Однако, искусственные сорбенты сложны в изготовлении, а также требуют дополнительных материальных затрат на доставку. С экономической точки зрения наиболее эффективно использование природных материалов, обладающих высокой сорбционной способностью без дополнительной обработки. Для обогатительных фабрик, располагающихся вблизи крупных озёр, наиболее перспективным сорбционным материалом является сапропель. Его сорбционные свойства

объясняются высокой дисперсностью и, как следствие, большой удельной поверхностью. Эффективность поглощения ионов тяжёлых металлов объясняется наличием на поверхности частиц сапропеля силанольных групп, способных к ионному обмену [2]. Запасы сапропеля на территории России превышают 92 млрд. т и не находят квалифицированного применения [2]. В то же время, возрастание объёмов сапропеля приводит к заболачиванию озёр [2]. Использование сапропеля при очистке сточных вод позволит улучшить экологическую обстановку в водных объектах за счёт снижения уровня химического загрязнения тяжёлыми металлами и замедления темпов заболачивания водоёмов. Экономический эффект предлагаемого решения достигается за счёт уменьшения платы за негативное воздействие предприятий на водные объекты и снижения затрат на закупку сорбентов и реагентов для обеспечения работоспособности очистных сооружений.

При использовании сапропеля в очистке сточных вод следует обращать внимание на исходный уровень загрязнения донных отложений в водных объектах горнопромышленного района. За длительное время функционирования добывающих предприятий донные отложения в близлежащих водных объектах могли аккумулировать большое количество загрязняющих веществ. Существует несколько путей накопления загрязняющих веществ в донных отложениях. К ним относятся осаждение на зеркала воды частиц пыли, выделяемой при массовых взрывах, перегрузке и транспортировке горных пород; сорбция непосредственно из воды загрязняющих веществ, попавших в водный объект со стоками, а также вторичное загрязнение донных отложений веществами, накопленными живыми организмами. Если используемый в очистке сточных вод сапропель изначально имеет высокий уровень загрязнения, он может снизить эффективность работы очистных сооружений за счёт частично заполненной сорбционной ёмкости или десорбции загрязняющих веществ в очищаемые сточные воды. В рамках данного исследования был проведён рентгенофлуоресцентный анализ донных отложений, отобранных из озера, расположенного возле крупного предприятия по добыче медно-цинковых руд в республике Башкортостан. Результаты анализа приведены в таблице.

В исследуемых донных отложениях наблюдается наличие тяжёлых металлов естественного и антропогенного происхождения. Для оценки возможности вторичного загрязнения сапропель выдерживался в дистиллированной воде в течение часа. В ходе дальнейшего качественного анализа воды методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой наличие тяжёлых металлов не выявлено, а значит, вторичное загрязнение отсутствует. В случае выявления вторичного загрязнения сапропель необходимо подвергать предварительной обработке. Например, катионообменные формы тяжёлых металлов могут удаляться из почвы обработкой растворами хлорида магния или хлорида калия [5]. Данный метод может быть применим и для сапропеля, поскольку он, как и почва, является органоминеральным материалом.

Таблица

Результаты рентгенофлуоресцентного анализа донных отложений

Элемент	Концентрация, мг/кг	Элемент	Концентрация, мг/кг	Элемент	Концентрация, мг/кг
Sr	259±12	Cu	360±40	Cr	490±80
Pb	74±14	Ni	61±38	Ti	2300±400
As	45±15	Fe	28800±600	Ca	76900±1800
Zn	770±50	Mn	660±130	K	8300±1100

Технически очистку сточных вод сапропелем можно организовать различными способами. Например, сапропель можно распределить на полях фильтрации, где он будет выполнять роль фильтрующего слоя. Другой вариант заключается в использовании адсорберов с загрузкой на основе сапропеля, но его применение в исходном виде осложняется высоким гидравлическим сопротивлением. Данную проблему можно решить путём гранулирования сапропеля с использованием нерастворимого в воде связующего. Существуют исследования по изготовлению гранулированных сорбентов с использованием в качестве связующих крахмала [1] или жидкого стекла [3], перспективность которых заключается в относительной дешевизне и водостойкости.

Отработанный сорбент на основе сапропеля необходимо регенерировать или утилизировать. Регенерация загрязнённого сапропеля, так же, как и предварительная обработка, возможна путём промывки растворами хлорида калия или магния. Обогащённый тяжёлыми металлами промывочный раствор будет обладать тем же качественным составом, что и техническая вода, поэтому его можно вернуть в систему оборотного водоснабжения предприятия. Утилизация отработанного сорбента предполагает его использование в иных отраслях. Например, в качестве добавки при изготовлении тротуарной плитки, бортового бетонного камня, стеновых бетонных блоков [4].

Исходя из рассмотренных исследований, озёрный сапропель является перспективным, распространённым и недорогим сырьём для изготовления сорбентов тяжёлых металлов. В первую очередь, его использование актуально для горно-обогатительных комбинатов, использующих водные объекты с большим количеством сапропеля в качестве источников технической воды и приёмников сточных вод. Вовлечение сапропеля в очистку сточных вод позволит замедлить темпы заболачивания озёр. Также, немаловажны возможности регенерации и утилизации отработанного озёрного сапропеля, поскольку проблема накопления отходов горной промышленности не менее актуальна, чем проблема загрязнения водных ресурсов. *Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (FSRW-2023-0002 Фундаментальные междисциплинарные исследования недр Земли и процессов комплексного освоения георесурсов)*

Литература

1. Зубкова О.С. и др. Получение гранулированного сорбента на основе активного угля для очистки нефтезагрязнённых сточных вод //Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2022. – № 4 (216). – С. 77-84.

2. Коваленко Т.А. Исследование физико-химических закономерностей сорбции органических веществ и ионов металлов на углеродминеральных сорбентах, полученных из сапропелей: дис. – 2010.
3. Лукашевич О.Д., Усова Н.Т. Сорбент из железистого шлама для очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2018. – Т. 20. – № 1. – С. 148-159.
4. Хлынина Н.Г. Использование сапропеля в качестве сорбента для очистки сточных вод: дис. – Волгоградская государственная сельскохозяйственная академия, 2008.
5. Цыплаков С.Е. Ступенчатая десорбция различных форм тяжелых металлов из чернозема выщелоченного // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2010. – Т. 10. – № 3.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	5
------------------	---

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

Брушков А.В., Дроздов Д.С., Дубровин В.А., Ли О.В., Остарков Н.А., Сергеев Д.О. АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГЕОКРИОЛОГИИ	10
Коношонкин Д.В. НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ПОИСКА И ДОБЫЧИ УГЛЕВОДОРОДОВ В КОНТЕКСТЕ МИРОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ВЫЗОВОВ	12
Данилова М.А., Вахромеев А.Г., Горохов А.П., Левин А.В., Зарубов М.С., Ишков А.А., Лыков Р.С. ПРОМЫШЛЕННЫЕ РАССОЛЫ НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СИБИРИ, ВОПРОСЫ ГЕНЕЗИСА РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ В ГИДРОМИНЕРАЛЬНОМ СЫРЬЕ.....	13

Секция 1. ПАЛЕОГЕОГРАФИЯ И ЭВОЛЮЦИЯ ОСАДОЧНЫХ БАССЕЙНОВ

Акулич И.В. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОИСКОВ НЕФТИ И ГАЗА В ЗАПАДНО-КУБАНСКОМ ПРОГИБЕ (ПО ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИМ ДАННЫМ).....	18
Андрейча Д.В. УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПРИСАЯНСКОЙ СВИТЫ ПО ДАННЫМ РЕНТГЕНОФЛЮОРЕСЦЕНТНОГО И РЕНТГЕНОСТРУКТУРНОГО АНАЛИЗОВ НА МЕСТОНАХОЖДЕНИИ ВЛАДИМИРОВКА (ИРКУТСКИЙ БАССЕЙН, СРЕДНЯЯ ЮРА).....	20
Баженова О.А., Кашапов Р.С. ИЗМЕНЕНИЕ ИЗОТОПНОГО СОСТАВА ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА ПОРОД И НЕФТЕЙ БАЖЕНОВСКОЙ СВИТЫ С РОСТОМ КАТАГЕНЕЗА	21
Боковой Д.И., Акулич И.В., Григорьев Г.Д. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЛЮМИНЕСЦЕНТНО-БИТУМИНОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА В УСЛОВИЯХ РАЗРАБОТКИ СЕВЕРО-РАЧКОВСКОГО НЕФТЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ.....	23
Ворончук А.Д. КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ ПРИ ПОСТРОЕНИИ ФАЦИАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ НА ПРИМЕРЕ ОДНОГО ИЗ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ (ВАСЮГАНСКАЯ СВИТА, БАХИЛОВСКИЙ МЕГАВАЛ)	25
Газизуллин Б.М. ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ФОТОГРАФИРОВАНИЯ РАКОВИН ОСТРАКОД В ОТРАЖЕННОМ И ПРОХОДЯЩЕМ СВЕТЕ	27
Назарова А.А. СТИЛОЛИТИЗАЦИЯ: ФАКТОР ЭВОЛЮЦИИ ПРОНИЦАЕМОСТИ КАРБОНАТНЫХ ПОРОД.....	29
Пахтаева М.Г. МЕТАЛЛООРГАНИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ ЗОЛОТА В АТОМАРНО-МОЛЕКУЛЯРНОЙ СТРУКТУРЕ ФИТОЛЕЙМ И ГЕРБАРИЕВ РАСТЕНИЙ	31
Рахимбердина А.О. ЭНДЕМИЧНЫЙ СРЕДНЕ-ВЕРХНЕЮРСКИЙ ПАПОРОТНИК ЗАПАДНОЙ СИБИРИ.....	33
Резникова М.С. БИТУМИНОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МОНОМСКОЙ СВИТЫ (ВИЛЮЙСКАЯ ГЕМИСИНЕКЛИЗА)	34
Терещенко А.Е. СЕЙСМОСТРАТИГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОСАДОЧНОГО ЧЕХЛА ЮЖНЫХ РАЙОНОВ ЛЕНСКОЙ ВЕТВИ ПРЕДВЕРХОЯНСКОГО ПРОГИБА	35
Усова И.И., Жукова В.В. ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКИЕ И ЛИТОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЮРСКО-МЕЛОВЫХ НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ТАЗОВСКОГО РАЙОНА ЯНАО.....	37
Утюпин Л.О. ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ РАКОВИН БЕНТОСНЫХ ФОРАМИНИФЕР КОЛОНКИ LV92-49 (ОХОТСКОЕ МОРЕ, РАЙОН ОСТРОВА ПАРАМУШИР)	39
Ходоров И.С. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВИЙ ОСАДКОАКОПЛЕНИЯ ПЕСЧАНЫХ ПОРОД ПРИ ВЫЧИСЛЕНИИ СОДЕРЖАНИЯ БОРА ПО МАТЕРИАЛАМ РАДИОАКТИВНОГО КАРОТАЖА НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ПОЛУОСТРОВА ЯМАЛ.....	42
Чернов Д.Д. Морфологические особенности РАКОВИН АГГЛЮТИНИРОВАННЫХ БЕНТОСНЫХ ФОРАМИНИФЕР РЕОРНАХ EXENTRICUS	44

Секция 2. РУДООБРАЗУЮЩИЕ СИСТЕМЫ: ПРОБЛЕМЫ МИНЕРАЛОГИИ, ГЕОХИМИИ И ПЕТРОЛОГИИ

Адилбекова А. К. ШУ-САРЫСУЙСКАЯ ДЕПРЕССИЯ-НОВАЯ ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ РЕДКОЗЕМЕЛЬНАЯ ПРОВИНЦИЯ.....	46
Безлепкин А.А. МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ РУДНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ РЯБИНОВОГО ЗОЛОТО-МЕДНО-ПОРФИРОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЦЕНТРАЛЬНОГО АЛДАНА (ЯКУТИЯ).....	48
Бердник И. В. ВЛИЯНИЕ ПОВЫШЕННОГО СОДЕРЖАНИЯ КАРБОНАТОВ В ГОРНЫХ ПОРОДАХ НА ПРОЦЕСС ДОБЫЧИ УРАНА МЕТОДОМ ПСВ.....	50
Бокарев К.А. Морозова Е.Н. ГЕОЛОГИЯ И ПЕТРОГРАФИЯ РАННЕДЕВОНСКИХ ДОЛЕРИТОВ БАРЗАССКОГО РАЙОНА (КУЗНЕЦКИЙ ПРОГИБ).....	52
Готфрид Н. С. ОСОБЕННОСТИ УСЛОВИЙ ОБРАЗОВАНИЯ ГИДРОТЕРМАЛЬНО-ИЗМЕНЕННЫХ ПОРОД И РУД МЕСТОРОЖДЕНИЯ СЕВЕРНОЕ (ЭЛЬКОНСКИЙ РУДНЫЙ РАЙОН, ЮЖНАЯ ЯКУТИЯ)	54
Дибров А.М., Диброва Ю.А. РОЛЬ ЛИТИЯ В ПЕРЕХОДЕ К НИЗКОУГЛЕРОДНОЙ ЭКОНОМИКЕ	56

Есжанова Д. А. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛАБОРАТОРНОГО МЕТОДА ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ В ТРУБКАХ	57
Жукова А.Л., Мавлютова А.Р., Якич Т.Ю. НОВЫЕ ДАННЫЕ О РЕДКОЙ Sb-AG МИНЕРАЛИЗАЦИИ САРАЛИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗОЛОТА НА ПРИМЕРЕ ЖИЛЫ КАСКАДНАЯ (РЕСПУБЛИКА ХАКАСИЯ, РОССИЯ)	59
Исаков М. ПРОБЛЕМА ВЗАИМОСВЯЗИ МЕЖДУ СОДЕРЖАНИЯМИ ГЛИНОЗЕМА, ТОПАЗА И ЗОЛОТА НА МЕСТОРОЖДЕНИИ «КОПНА»	61
Ляхно Е.А., Едаптина К.С., Синкина Е.А. О ПРИЧИНАХ ОКРАСКИ ОПАЛОВ В ТОМСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ (ЗАПАДНАЯ СИБИРЬ)	63
Левочский Б.Б., Ярославцев Д.А., Якич Т.Ю. СЛЕДЫ ГРАНИТОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В РУДНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ УЛЬТРАБАЗИТ-БАЗИТОВЫХ МАССИВОВ СИХОТЭ-АЛИНЯ (ХАБАРОВСКИЙ КРАЙ): ИСТОЧНИКИ И ВОЗМОЖНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ФОРМИРОВАНИЯ	66
Максимов П.Н., Максимова Н.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПЕРМАНГАНАТА КАЛИЯ И ГАЛЛУАЗИТА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ МИКРОУДОБРЕНИЯ	68
Максимова Н.А., Максимов П.Н. ФАЦИАЛЬНЫЕ ОБСТАНОВКИ ФОРМИРОВАНИЯ ЮРСКИХ ООИДОВЫХ ЖЕЛЕЗНЯКОВ ЛАБИНО-МАЛКИНСКОЙ ЗОНЫ (БОЛЬШОЙ КАВКАЗ)	70
Молукпаева Д.К. ПРОГНОЗНО-ПОИСКОВЫЕ КРИТЕРИИ ДЛЯ СОХАТИНОГО ЗОЛОТОРУДНОГО ПОЛЯ	72
Низамутдинов Р.Р. МИНЕРАЛОГО-ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ УЛЬТРАОСНОВНЫХ СЕРПЕНТИНИТОВ КАБАШСКОГО МАССИВА	74
Николаева А. Н., Ярчук А. В. ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ РУД ТАБОРНИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (РЕСПУБЛИКА САХА(ЯКУТИЯ))	75
Ничипурук Е. А. МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РУД ТУРУНТАЕВСКОЙ ЗОНЫ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ (ТОМСКАЯ ОБЛАСТЬ)	77
Радюк Е. В. ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ РУД НОВО-УРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (КЕМЕРОВСКАЯ ОБЛАСТЬ)	79
Рудмин М.А., Рубан А.С. ГЛИНИСТЫЙ МАТРИКС ОСАДКОВ МЕТАНОВЫХ СИПОВ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ: ПОИСК НОВЫХ МИНЕРАЛОГИЧЕСКИХ ИНДИКАТОРОВ СПЕЦИФИЧЕСКОГО ДИАГНЕЗА	81
Сейров Ф. Е. СТРУКТУРНО-МЕТАСОМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МЕДНО-ПОРФИРОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ АКТОГАЙ ПО МАТЕРИАЛАМ ДИСТАНЦИОННЫХ СЪЕМОК	83
Уезбаев Ж.Н. ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ РУД УРАНОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЮЖНЫЙ КАРАМУРУН	85
Усольцева А.Е. ТЕРМОБАРОМЕТРИЯ ПОРОД КИЧАНСКОЙ СТРУКТУРЫ В СОСТАВЕ АРХЕЙСКОГО ТИКШЕОЗЕРСКОГО ЗЕЛЕНОКАМЕННОГО ПОЯСА ФЕННОСКАНДИНАВСКОГО ЩИТА НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МНОЖЕСТВА МИНЕРАЛЬНЫХ РЕАКЦИЙ (МУЛЬТИРАВНОВЕСИЙ)	86
Федосюк Г.А. ХЛОРИТ ИЗ ОДНОСЛЮДЯНЫХ И ДВУСЛЮДЯНЫХ СЛАНЦЕВ ИРТЫШСКОЙ ЗОНЫ СМЯТИЯ (ВОСТОЧНЫЙ КАЗАХСТАН)	88
Хитрин И.С., Рудмин М.А. ГЛАУКОНИТ: ЦЕННЫЙ МИНЕРАЛ ДЛЯ СОЗДАНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ МАКРО- И МИКРОНУТРИЕНТНЫХ УДОБРЕНИЙ	91
Ходатович И.В. ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ ЦИРКОН-ИЛЬМЕНитОВЫХ ПЕСКОВ ТУГАНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ТОМСКАЯ ОБЛАСТЬ)	93
Юкляевских Д.С. ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ РУД И ГЕНЕЗИС МЕДНОГО УЛАНДРЫКСКОГО РУДОПРОЯВЛЕНИЯ (РЕСПУБЛИКА АЛТАЙ)	95
Ярославцев Д.А., Левочская Д.В., Якич Т.Ю. МИНЕРАЛЫ-СПУТНИКИ ЭЛЕКТРУМА В ЭПИТЕРМАЛЬНОМ Au-AG МЕСТОРОЖДЕНИИ ЛЕВОБЕРЕЖНОЕ (ХАБАРОВСКИЙ КРАЙ): УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ И СВЯЗЬ С РУДОГЕНЕЗОМ	97
Ярчук А. В., Николаева А. Н. СТРУКТУРНО-ВЕЩЕСТВЕННЫЕ И ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ЛОКАЛИЗАЦИИ ЗОЛОТОГО ОРУДЕНЕНИЯ ТАБОРНИНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ (РЕСПУБЛИКА САХА (ЯКУТИЯ))	99

Секция 3. ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ СИСТЕМ

Аникина О.А., Минаков М.С. ИЗУЧЕНИЕ ТЕПЛОВОГО ПОЛЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ В ОКРЕСТНОСТЯХ Г. ТОМСКА ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ LANDSAT 8–9	101
Вопилов И.Н. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ЕНИСЕЙСКОГО КРЯЖА И ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ ФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ВЕРХНЕ-ЕНАШИМИНСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО УЗЛА	102
Вопилов И.Н. ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ ФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ПАРТИЗАНСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО УЗЛА (ЕНИСЕЙСКИЙ КРЯЖ)	104
Гильманова К.Я. АНАЛИЗ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ ПРИ ОБОСНОВАНИИ КРИТИЧЕСКИХ УДЕЛЬНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ НЕФТЕ- И ВОДОНАСЫЩЕННЫХ ИНТЕРВАЛОВ В ОТЛОЖЕНИЯХ ТЮМЕНСКОЙ СВИТЫ	106
Минаков М.С., Насыров Р.Г. ВОЗМОЖНОСТИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД	107

Слоквенко В.В. АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ И РАДИОГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ МЕСТОРОЖДЕНИЯ СУХОЙ ЛОГ (ПАТОМСКОЕ НАГОРЬЕ)	108
Спицын А.С. НЕОБХОДИМОСТЬ РАЗРАБОТКИ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРАВЛЕНИЯ АНИЗОТРОПИИ ТРЕЩИН НА ОСНОВАНИИ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ И СТАНДАРТНОГО КОМПЛЕКСА ГИС	110

Секция 4. ГИДРОГЕОЛОГИЯ, ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ И ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВО

Акимова С.С., Липихин Д.В. ТЕРМООПОРА КАК МЕТОД ТЕРМОСТАБИЛИЗАЦИИ ГРУНТА	112
Анисимова Е.А. ПОДБОР ОПТИМАЛЬНОГО ФУНДАМЕНТА ПРОМЫШЛЕННОЙ УСТАНОВКИ В ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ ЗАИНСКОГО МУНИЦИПАЛЬНОГО РАЙОНА РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН	113
Аленин И.Э. СОВМЕСТНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА И ТЕХНОЛОГИИ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НА РАЗЛИЧНЫХ ЭТАПАХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ОБЪЕКТОВ НЕДВИЖИМОСТИ	115
Афанасьев А. Г. КОМПЛЕКС ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЙ ДЛЯ ПРОЕКТА РЕКОНСТРУКЦИИ АРТЕЗИАНСКОГО ВОДОЗАБОРА В ПОСЕЛКЕ КАЗЁННАЯ ЗАЙМКА Г. БАРНАУЛА (АЛТАЙСКИЙ КРАЙ)	116
Бубнова А.Р., Калачева Л.П., Иванова И.К., Портнягин А.С., Иванов В.К. КИНЕТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ГИДРАТООБРАЗОВАНИЯ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА В ЗАСОЛЕННЫХ ПОРИСТЫХ СРЕДАХ	118
Варламова И.Д. ПРОЕКТ ЗОНЫ САНИТАРНОЙ ОХРАНЫ ВОДОЗАБОРНЫХ СКВАЖИН ПОДЗЕМНЫХ ИСТОЧНИКОВ ВОДОСНАБЖЕНИЯ	120
Глухова С.А. ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСНОГО АНАЛИЗА ПРИ ОЦЕНКЕ ВЛИЯНИЯ НЕОТЕКТЕНИЧЕСКИХ СТРУКТУР НА ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ТРОСТЕНСКОЙ ВПАДИНЫ (МОСКОВСКАЯ ОБЛАСТЬ)	122
Горячих Д.С. ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ЗОНЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ МАГИСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДА (КРАСНОЯРСКИЙ КРАЙ, ГОРОД НОРИЛЬСК)	124
Гроза А.Н. ПРИМЕНЕНИЕ ГЕЛИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ГЕРМЕТИЧНОСТИ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ ПОДЗЕМНЫХ ГАЗОВЫХ ХРАНИЛИЩ (НА ПРИМЕРЕ ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ МОЛДОВА)	125
Гроза А.Н., Вэтману Л.Л. ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ КОНЦЕПТУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ТРЕХМЕРНОГО ГЕОЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ ПОДЗЕМНЫХ ГАЗОВЫХ ХРАНИЛИЩ (НА ПРИМЕРЕ ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ МОЛДОВА)	126
Зарубов М.С. Данилова М.А., Ишков А.А. Вахромеев А.Г., Горохов А.П. ПЕРСПЕКТИВЫ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЦЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ ГИДРОМИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ НЕФТЕГАЗОКОНДЕНСАТНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ БАЙКИТСКОЙ АНТЕКЛИЗЫ	128
Иванова Д.А. ВЕРИФИКАЦИЯ ПРОГНОЗНЫХ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ (НА ПРИМЕРЕ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕГАЗОДОБЫЧИ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ)	130
Куверин К.Н. ТРАНСПОРТ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ОТ СЕЛА ПЕТРОПАВЛОВСКОЕ ДО СЕЛА ПАУТОВО КАК РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ (ПЕТРОПАВЛОВСКИЙ РАЙОН АЛТАЙСКОГО КРАЯ)	132
Ли А.С. ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ЗАСТРАИВАЕМЫХ ТЕРРИТОРИЙ НА ПРИМЕРЕ ЛЕВОГО БЕРЕГА РЕКИ ТОМИ	134
Макаров И.О. ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА СЕТЕЙ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ ДО ОБЪЕКТОВ СУБКЛАСТЕРА «БЕЛОКУРИХА-2» ТУРИСТСКО-РЕКРЕАЦИОННОГО КЛАСТЕРА «БЕЛОКУРИХА», (АЛТАЙСКИЙ КРАЙ)	136
Малков Д.С. ОСОБЕННОСТИ МИКРОКОМПОНЕНТНОГО СОСТАВА ПРИРОДНЫХ ВОД БАССЕЙНА РЕКИ СОБОЛОХ-МАЯН (ПРЕДВЕРХОЯНСКИЙ ПРОГИБ, ЯКУТИЯ)	138
Мауль Д.А. АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КАДАСТРОВОЙ СТОЙМОСТИ НА ЭКОНОМИЧЕСКУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗЕМЕЛЬ ЛЕСНОГО ФОНДА	140
Моисеева Н.А., Губанищева М.А. ВИДЫ ОГРАНИЧЕНИЙ В ПЕРВОЙ И ВТОРОЙ ПОДЗОНАХ ПРИАЭРОДРОМНОЙ ТЕРРИТОРИИ НА ПРИМЕРЕ АЭРОПОРТА ГОРОДА ТОМСКА	142
Плюснин М.А. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ВОД ТЕХНОГЕННЫХ ВОДОЕМОВ, СФОРМИРОВАННЫХ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ХОЛБОЛЬДЖИНСКОГО БУРОУГОЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ	144
Полубелова А. В. ОСОБЕННОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ОЗЕР И ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА ВОДОСБОРНОЙ ПЛОЩАДИ ИСТОЧНИКА ЕРЮЮ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ	145
Раскошная Э.В. АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ, СВЯЗАННЫЕ С РАЗРАБОТКОЙ СХЕМЫ РАСПОЛОЖЕНИЯ ЗЕМЕЛЬНОГО УЧАСТКА НА КАДАСТРОВОМ ПЛАНЕ ТЕРРИТОРИИ	147
Улаева С.С. ПРОБЛЕМЫ АДЕКВАТНОСТИ ПЕРЕВОДА МЕТАФОРИЧЕСКИХ ТЕРМИНОВ В ГИДРОЭКОЛОГИИ С АНГЛИЙСКОГО НА РУССКИЙ	149
Черниговский Р.С. ГАЗОВЫЙ СОСТАВ НИЖНЕЙ ЧАСТИ ЗОНЫ АЭРАЦИИ В РАЙОНЕ СОДОВЫХ ОЗЕР ВЕРХНЕЕ БЕЛОЕ И НИЖНЕЕ БЕЛОЕ	151
Четверикова А.Г. РАСПРОСТРАНЕННОСТЬ СУЛЬФАТВОССТАНАВЛИВАЮЩИХ БАКТЕРИЙ В ВОДАХ НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ	153
Шабутдинов Т.Д. ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ЗИЛАЙСКОГО СИНКЛИНОРИЯ (ЮЖНЫЙ УРАЛ)	154

Шубина Е.А., Журавлев Д.М. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ШТАТА ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ УГОЛЬНЫХ ШАХТ.....	156
---	-----

Секция 5. ГЕОЭКОЛОГИЯ И ГЕОХИМИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Мезина К.А., Мельгунов М.С. ВЕРТИКАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ^{210}Pb , ^7Be И ^{137}Cs В СИСТЕМАХ «ЛИШАЙНИК/МОХ-ЛЕСНАЯ ПОДСТИЛКА» НА ТЕРРИТОРИИ АЛТАЙСКОГО КРАЯ.....	158
Слепушкина А.А. АВТОМАТИЗАЦИЯ ЗАДАЧ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА С ПРИМЕНЕНИЕМ ОТРАСЛЕВОГО ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА «1С:ЭКОЛОГИЯ. ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ КОРП».....	160
Андреева А.Д., Беспалова А.И. СОДЕРЖАНИЕ ФТОРА В СНЕГОВОМ И ПОЧВЕННОМ ПОКРОВЕ В ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЗОНАХ Г. ТОМСКА	161
Артюшкина П.А., Мухорткина Н.А., Король И.С. ОРГАНИЧЕСКИЕ ВЕЩЕСТВА СЛОЕВ МЕРЗЛОТЫ ОСТРОВА САМОЙЛОВСКИЙ В ДЕЛЬТЕ РЕКИ ЛЕНА.....	163
Баранов Д.Ю., Мурлис Д.В., Понизов А.В., Верещагин П.М., Муслимов Д.Д., Скворцов М.В. РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА СОРБЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ ИНЖЕНЕРНЫХ БАРЬЕРОВ БЕЗОПАСНОСТИ НА ОСНОВЕ ГЛИНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ	165
Беспалова А.И. ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА УЛИЧНОЙ ПЫЛИ В ПРОМЫШЛЕННО-СЕЛИТЕБНЫХ РАЙОНАХ Г. КРАСНОЯРСКА.....	167
Буданова В.В. РТУТЬ В ПОЧВАХ ФОНОВЫХ И ПЛАНИРУЕМЫХ К ОСВОЕНИЮ ТЕРРИТОРИЙ (НА ПРИМЕРЕ ЗАБАЙКАЛЬСКОГО КРАЯ И ЧУКОТСКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА).....	169
Бурьлин Я.О., Юсупова А.Р., Кузина Д.М. ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОСАДКОВ ОЗЕРА НИЖНИЙ КАБАН (Г. КАЗАНЬ).....	170
Быкова Е.М. К ВОПРОСУ О МЕТОДАХ ФИТОТЕСТИРОВАНИЯ ОТХОДОВ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ.....	172
Гашникова А.О., Панфилов В.Д. ОБЗОР ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА НА ТЕРРИТОРИИ Г. НОВОКУЗНЕЦКА (КЕМЕРОВСКАЯ ОБЛ.)	174
Голышев М.Б., Севостьянов Р.А. ДЕТЕКЦИЯ ЧАСТИЦ МИКРОПЛАСТИКА В АКВАТОРИЯХ ПЕТРОПАВЛОВСК-КАМЧАТСКОЙ ГОРОДСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ	176
Гончаров Г.А., Кузина Д.М. КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ АНАЛИЗ КОМПОНЕНТ МАГНИТНОЙ ВОСПРИИМЧИВОСТИ И ПОРОДООБРАЗУЮЩИХ ОКСИДОВ В ПОЧВЕННОМ ПОКРОВЕ (Г. УФА, РЕСПУБЛИКА БАШКОРТОСТАН).....	178
Гусарова Д. С., Филатова О.Р. ФОРМЫ ПЕРЕНОСА МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В РОДНИКОВЫХ ВОДАХ (НА ПРИМЕРЕ РОДНИКОВ ЩЕЛКОВСКОГО ГОРОДСКОГО ОКРУГА МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ)	180
Евсеев М.В., Земляков А.И. МАГНИТНАЯ ВОСПРИИМЧИВОСТЬ УЛИЧНОЙ (ДОРОЖНОЙ) ПЫЛИ КАК ИНДИКАТОР НАКОПЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ НА ТЕРРИТОРИИ МИКРОРАЙОНА ТЫРГАН Г. ПРОКОПЬЕВСКА	182
Зезюн К.А. ОЦЕНКА ТОКСИЧНОСТИ МАТЕРИАЛА ХВОСТОХРАНИЛИЩА ДЖИДИНСКОГО ВОЛЬФРАМО-МОЛИБДЕНОВОГО КОМБИНАТА (БУРЯТИЯ) МЕТОДАМИ БИОТЕСТИРОВАНИЯ	184
Иванова Д.А. ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ЖИТЕЛЕЙ Г. ВЛАДИВОСТОК	185
Капинос Л.Ю. К ВОПРОСУ ОБ ОЦЕНКЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ГОРОДА ТОМСКА	186
Крачнакова М.Г. СУММАРНОЕ НАКОПЛЕНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В КОЛЬЦАХ ДЕРЕВЬЕВ ТЕРРИТОРИИ ОЗЕРА ТЕЛЕЦКОГО (РЕСПУБЛИКА АЛТАЙ)	188
Лапиков П.И., Быков В.М. ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ДЕЛЬТЫ СЕВЕРНОЙ ДВИНЫ.....	189
Ле Т.Х.Ш. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ДЕНДРОХРОНОЛОГИИ И ДЕНДРОГЕОХИМИИ В ИЗУЧЕНИИ ТЕРРИТОРИИ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ И СОЦИАЛИСТИЧЕСКОЙ РЕСПУБЛИКИ ВЬЕТНАМ	191
Ливента Д.С. ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЧВ В РАЙОНЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ ОЛОНЬ-ШИБИРСКОГО КАМЕННОУГОЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (РЕСПУБЛИКА БУРЯТИЯ)	193
Литвинов Л. В. СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ИОННОГО СОСТАВА ВОД ОСНОВНЫХ ЭКОСИСТЕМ ОЛИГОТРОФНЫХ БОЛОТ.....	195
Маимуна Садия Тункара ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ДОБЫЧИ ЗОЛОТА В РЕСПУБЛИКЕ МАЛИ	196
Марченко И.О. РАЗРАБОТКА МЕТОДОЛОГИЧЕСКОГО ПОДХОДА К ОЦЕНКЕ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПЛОЩАДКИ БАЛАПАН НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ДЕСТРУКТИВНЫХ ПРОЦЕССОВ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ.....	198
Марченко О.О., Белан Б.Д. АНАЛИЗ МЕЗОМАСШТАБНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ CO И CO_2 В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ В ГОРОДСКОЙ, ПРИГОРОДНОЙ И ФОНОВОЙ ЗОНАХ Г. ТОМСК	200
Масленикова К.С. ХИМИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ В СИСТЕМЕ «ПОЧВА – ЛАБАЗНИК ВЯЗОЛИСТНЫЙ (<i>FILIPENDULA ULMARIA</i> (L) MAXIM)» НА ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА ОСИННИКИ (КЕМЕРОВСКАЯ ОБЛАСТЬ)	202
Минаков М.С., Аникина О.А. ИЗУЧЕНИЕ ТЕПЛОВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ Г. ТОМСКА ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ LANDSAT 8-9.....	204
Мозолева Е.Н., Брындина А.В., Монахова С.А. КОМПЛЕКСНАЯ МОДИФИКАЦИЯ СОРБЕНТОВ МЕТОДАМИ УВЧ- И ХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТИ: ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ И СОРБЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК.....	205

Носкова А.Д. ХИМИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ И ИХ МИКРОМИНЕРАЛЬНЫЕ ФАЗЫ В ОРГАНИЗМЕ МЛЕКОПИТАЮЩЕГО РЕСПУБЛИКИ АЛТАЙ	206
Одерова Е.Е., Гончаров Г.А. ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ЛИСТЬЕВ ТОПОЛЯ НА ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА ГОРНЯК (АЛТАЙСКИЙ КРАЙ)	208
Осипова С.М., Осипов М.Е., Кирсанова Н.В. МЕТОДИКА ЛАНДШАФТНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ В ЗОНЕ МНОГОЛЕТНЕМЁРЗЛЫХ ПОРОД С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИС	209
Панфилов В.Д., Гашникова А.О. АЭРОТЕХНОГЕННАЯ НАГРУЗКА НА ТЕРРИТОРИЮ Г. НОВОКУЗНЕЦКА: ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ	211
Потоскуев А.А. К ВОПРОСУ О КОНЦЕНТРАЦИИ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ОРГАНИЗМАХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ)	213
Рахова С.Е. ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РАСТВОРЕННОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА НА ВЕРХОВОМ БОЛОТЕ	214
Рудакова А.Е. РТУТЬ В ТРАВЯНИСТОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ТЕРРИТОРИИ ЗАБАЙКАЛЬСКОГО КРАЯ	216
Садиров М.Ш. ОСНОВНЫЕ ФОРМЫ КАРБОНАТНЫХ НОВООБРАЗОВАНИЙ В АВТОМОРФНЫХ ПОЧВАХ ПОДТАЕЖНОЙ ЗОНЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ	218
Севостьянова Ю.Е. ОБЗОР МЕТОДОВ ОЧИСТКИ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ АКВАТОРИЙ И ПРИБРЕЖНЫХ ТЕРРИТОРИЙ	220
Тармёнок Е.О. ГЕОХИМИЧЕСКАЯ СПЕЦИФИКА СОСТАВА СНЕГОТАЛОЙ ВОДЫ В РАЙОНЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ ГЛИНОЗЁМНОГО ПРОИЗВОДСТВА	222
Тихомирова А.А. СОДЕРЖАНИЕ РТУТИ В ЭПИФИТНЫХ ЛИШАЙНИКАХ И ПОЧВАХ УРБАНИЗИРОВАННОЙ ТЕРРИТОРИИ (ПГТ. ЗЕЛЕНОБОРСК ХМАО-ЮГРА)	224
Тукмачев Д.В. БИОТЕСТИРОВАНИЕ БЕНТОНитОВОЙ ГЛИНЫ МЕСТОРОЖДЕНИЯ 10-Й ХУТОР	226
Туробов Э.Ш. ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ И СОСТАВА ТРАВЕРТИНОВ ТАЛОВСКИХ ЧАШ (ТОМСКАЯ ОБЛАСТЬ)	228
Храмов А.Е. МОРФОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РЕЛЬЕФА ТАШЛИНСКОГО РАЙОНА ОРЕНБУРГСКОЙ ОБЛАСТИ С ЦЕЛЬЮ ОЦЕНКИ РАЗВИТИЯ ЭРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ	229
Чаптаров Д.В. ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ФИТОТОКСИЧНОСТИ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОЧВЕ НА МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ГОРЦИЦЫ БЕЛОЙ (SINAPIS ALBA L., 1753)	231
Чжан Я. МХИ И ЛИШАЙНИКИ КАК БИОИНДИКАТОРЫ В ГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ	233
Шанёва В.С. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РАСТВОРЕННОГО ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА МЕЖДУ ЭКОСИСТЕМАМИ ОЛИГОТРОФНОГО БОЛОТА (МЕЖДУНАРОДНЫЙ ПОЛЕВОЙ СТАЦИОНАР «МУХРИНО», ЗАПАДНАЯ СИБИРЬ)	234
Шкригун А.А. СОДЕРЖАНИЕ РТУТИ И ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ОРГАНАХ И ТКАНЯХ РЫБ ВОДОЕМОВ АЛТАЯ	236
Яковлев Н.М., Горюнова Т.В. ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОЗЁРНОГО САПРОПЕЛЯ В КАЧЕСТВЕ СОРБЕНТА ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ КОМБИНАТОВ	237

Научное издание

ПРОБЛЕМЫ ГЕОЛОГИИ И ОСВОЕНИЯ НЕДР

Труды XXIX Международного молодежного научного симпозиума
имени академика М.А. Усова,
посвященного 80-летию со дня Победы в Великой Отечественной войне

Издано в авторской редакции

Компьютерная верстка *Е.Ю. Пасечник, И.В. Павлова*

Зарегистрировано в Издательстве ТПУ
Размещено на корпоративном портале ТПУ
в полном соответствии с качеством предоставленного оригинал-макета



ИЗДАТЕЛЬСТВО
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ