

## Секция 4

### ГИДРОГЕОЛОГИЯ И ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

#### ПОДЗЕМНЫЙ ВОДОЗАБОР–ЖИЗНЬ И ЗДОРОВЬЕ ЖИТЕЛЕЙ Г.ТОМСКА

**С.Л. Шварцев, профессор**

*Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

У томской власти сегодня, к сожалению, нет понимания, что подземный водозабор – это наш единственный колодец. Складывается впечатление, что они хотят этот колодец уничтожить.

Что такое подземный водозабор? Это система более чем из 160 скважин, расположенных вдоль рр. Томи и Оби. Когда мы отбираем воду, понижаются уровни, вокруг формируется так называемая депрессионная воронка, и вся вода стекает к скважинам. Атмосферные осадки, попадая на эту площадь, собираются снова, пройдя по горным породам, очищаются, обогащаются химическими элементами. Зона депрессионной воронки должна строго охраняться. Там нельзя строить большие сооружения, вырубать лес, использовать ядохимикаты и удобрения.

Хочу в этой связи вспомнить о мужественном поступке руководителя Томской области в 70-годы Е. Лигачева. На левом берегу р. Томи в свое время был запроектирован нефтехимический комбинат, уже провели изыскания, затратили несколько миллионов на проект. И все-таки Лигачев сумел доказать Москве: построим там комбинат – водозабора не будет. Он добился пересмотра строительной площадки. Из-за водозабора вектор развития города по генеральной схеме был направлен не на запад, не на левобережье, а на восток и юг.

Конечно, люди в зоне депрессионной воронки все равно потихоньку селились, обустроивались. Сегодня в левобережных поселках не слишком многолюдно, пока народ живет без особой техники, обрабатывая свои небольшие огороды, природа с этим справляется, все отходы успевают разложиться и не попадают в больших количествах в подземные воды. Подземные воды у нас по-прежнему чистые.

И вдруг как гром среди ясного неба: сегодня появляется проект дороги на левобережье р. Томи. Для гидрогеологов, экологов – полнейшая неожиданность. У ученых, специалистов не спросили совета, не был проведен предварительный анализ стройки, ее последствия. Я узнал об этом проекте только тогда, когда из Москвы уже деньги выделили... Сама по себе дорога вреда большого не принесет. Но, если она появится, там начнется активная застройка, более того – на левом берегу уже запроектирован жилой микрорайон! Это значит – машины, заправки, техника разная, пролитый бензин, нефтепродукты, туалеты, сточные воды... Если мы хотим поставить крест на водозаборе – добро пожаловать на левый берег.

Почему у нас такая короткая память? Ведь по левобережью есть полный комплект разнообразных постановлений томских властей разного уровня и разного времени – о том, что на левобережье можно лишь создавать парк, на лыжах кататься, отдыхать. Но когда во власть приходят новые люди, они начинают жить и работать будто с чистого листа. Да поднимите же документы, посмотрите решения прежних градоначальников – они же в силе до сих пор! Так же неожиданно, необоснованно возникает и начинает обсуждаться сегодня в администрации тема восстановления речного водозабора, и вновь без совета со специалистами и учеными. Не думаю, что она родилась случайно – это продуманный ход, направленный на уничтожение системы подземного водоснабжения городского населения. Какие могут тут быть аргументы «за реку»? Что, в Кузбассе перестали уголь добывать, закрылись все химические производства? Томь стала чистой? Ничего подобного. В ней купаться-то нельзя, не то что пить... Томичи позабыли, как в 1970-х годах, когда не было подземного водозабора, после очередного фенольного сброса в р.Томь отходов кемеровских промышленных предприятий, наши дети лежали в больницах целыми семьями, дворами и улицами... Ученые, геологи г.Томска тогда приложили большие усилия, чтобы открыть месторождение подземных вод и построить подземный водозабор. Было сделано все, чтобы обеспечить томичей чистой водой.

На новые способы очистки речной воды надеяться нечего: технологиями воду не улучшить. Это сложнейшая система из минеральных, органических, биогенных соединений и микроорганизмов. Качество ее определяется не только химией, элементами, которые она несет, но и бактериями (их сотни тысяч). Когда мы очищаем воду от химии, мы убиваем бактерии. Вода нужна нам природная, живая, чистая. Хорошая вода укрепляет наш организм, чтобы он правильно функционировал, плохая вода разрушает организм, приводит к болезням, нередко смертельным.

Речное водоснабжение – это совершенно недальновидно и неперспективно для Томска. Поверхностные воды загрязнить очень легко: достаточно вывалить зараженные отходы в реку, или, к примеру, допустить радиационный выхлоп... Подземные воды так быстро не испортить: бактерии с поверхности будут добираться до подземной воды десятилетиями, большей частью по пути погибнут. Но если подземные воды загрязнять постоянно, ежедневно и в больших количествах, то это очень и очень опасно. Если мы уйдем от подземного водоснабжения, мы его уже не восстановим. Нам говорят: подземный водозабор обветшал, водовод требует полной замены, в случае аварии у города не будет резервного источника. Так надо организовать работу водозабора как следует, следить за ним, реконструировать!

Так, город Вильнюс снабжается водой из 13 водозаборов – каждый со своей ниткой водовода, подходящей к своему микрорайону. Всегда можно перекинуть поток с аварийной нитки на соседнюю. У нас же воду со всех 160 скважин загнали в одну 16-километровую трубу, а потом печалимся: как же ее отремонтировать, не оставив город без воды? Разве трудно рядом резервную нитку водовода построить? Не такие уж великие деньги на это надо...

Осенью мы обязательно проведем специальную конференцию с обсуждением состояния и перспектив развития томского водозабора. Об этом пришла пора говорить в полный голос. Нельзя отравить и разрушить свой единственный и бесценный колодец. В противном случае будут трагические последствия.

**ГИДРОДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ САФЬЯНОВСКОГО  
МЕДНОКОЛЧЕДАННОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ****В.А. Арзамасцев**

Научный руководитель доцент С.Н. Елохина

*Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Россия*

Этапный характер разработки месторождений обуславливает необходимость ведения мониторинга воздействия на природную среду на всех стадиях отработки – разведка, эксплуатация, консервация. Начатый в 1996 г. объектный мониторинг на Сафьяновском медноколчеданном месторождении охватывает процесс перехода экосистемы от природной – разведка месторождения, к природно-техногенной – карьерная и в дальнейшем шахтная отработка. Данные полученные в процессе ведения мониторинговых наблюдений на изучаемом месторождении, таким образом, являются уникальными и в дальнейшем могут быть применены для прогноза изменения гидросферы на месторождениях, характеризующихся аналогичными природными условиями.

Сафьяновское медноколчеданное месторождение расположено на восточном склоне Среднего Урала в пределах Свердловской области, в 95 км к северо-востоку от г. Екатеринбурга.

В геологическом строении района принимают участие осадочные, осадочно-вулканогенные и вулканогенные породы, приуроченные к Алапаевско-Теченскому мегасинклинию Восточно-Уральского прогиба, почти повсеместно перекрытые чехлом мезозойско-кайнозойских рыхлых отложений. Из интрузивных пород наибольшим развитием в районе пользуются кварцевые порфиры и ультрабазиты. Среди массива вулканогенно-осадочных пород района месторождения довольно четко откартировано Сафьяновское субвулканическое тело северо-восточного простирания и относительно пологого (до 30°) западного падения с размерами в плане 2,0×1,5 км.

По гидрогеологическим условиям район Сафьяновского медноколчеданного месторождения расположен в пределах Большеуральского сложного бассейна корово-блоковых безнапорных вод с развитием трещинных и трещинно-жильных вод. На Сафьяновском месторождении в основном развита водоносная зона рифейско-нижнекаменноугольных вулканогенных образований. В ненарушенных условиях уровень подземных вод залегает на глубине 3–9 м и в сглаженном виде повторяет рельеф поверхности. Разгрузка происходит в местную речную сеть – р. Реж и её притоки.

Техногенно нарушенные условия характеризуются созданием карьерной выемки и функционированием зумпфового водоотлива. Формирование депрессионной воронки от водоотлива по площади практически завершилось уже осенью 2002 г. при глубине карьера 80 м, в связи со вскрытием на полную мощность зоны экзогенной трещиноватости палеозойских пород. На конец 2007 г. абсолютная отметка уровня воды в зумпфе составляет 110 м. Учитывая приводораздельное положение месторождения, граница области питания карьерного водоотлива практически соответствует границам депрессионной воронки, которая имеет овальную форму и вытянута по простиранию рудного тела. Её площадь ориентировочно оценивается – 3,2 км<sup>2</sup>.

На стадии карьерной отработки Сафьяновского медноколчеданного месторождения мониторинг предусматривает контроль источников воздействия (карьерный водоотлив, подотвальные воды, отвалы) на подземную гидросферу и проведение исследований ее текущего состояния в зоне существующего и предполагаемого влияния рудника (наблюдательные скважины).

По результатам мониторинга граница области захвата потока подземных вод дренажными мероприятиями на западе и северо-западе проходит вблизи наблюдательной скважины 3. На юге – в 400–600 м южнее контура карьера. Среднемесячная величина водоотлива за период 2004 – 2007 г. изменялась от 48 м<sup>3</sup>/ч (1157 м<sup>3</sup>/сут.) до 83 м<sup>3</sup>/ч (1982 м<sup>3</sup>/сут.). С началом проведения горно-эксплуатационных и дренажных работ на Сафьяновском месторождении отмечено изменение химического состава карьерных вод и обогащение их микроэлементами, вызванное процессами сернокислотного выщелачивания [2]. Установлено, что основными источниками загрязнения территории месторождения являются отвалы вскрышных пород, отстойники-накопители дренажных вод и собственно рудное тело [1]. Дальнейшее постепенное увеличение концентрации сульфатов, вплоть до их преобладающего преобладания над остальными макрокомпонентами-анионами, и увеличение концентраций типоморфных элементов медноколчеданных руд в дренажных водах подтвердилось данными наблюдений 2006–2008 г.

Важным моментом является факт обнаружения загрязнения вне предполагаемой зоны влияния техногенных источников (скважины 5 и 7), что говорит о продвижении фронта загрязненных вод ниже по потоку. На основании этих данных может быть определена скорость миграции индикаторов загрязнения, в качестве которых могут быть приняты сульфат-ион и типоморфные рудному телу элементы (кадмий, свинец и т.п.). Прогноз изменения гидрогеохимической обстановки месторождения при его дальнейшей отработке шахтным методом и последующей консервации может быть выполнен с помощью численной геомиграционной или термодинамической модели.

При сохранении источников воздействия и существующей техногенной нагрузки, включая продуцируемые отвалами подотвальными водами, прогнозируется дальнейший рост полиэлементного загрязнения.

В целом, воздействие деятельности объектов Сафьяновского рудника на подземные воды локализовано в пределах водосборной площади лога «Безымянный».

**Литература**

1. Арзамасцев В.А. Основные тенденции изменения химического состава подземных вод на Сафьяновском медноколчеданном месторождении // Проблемы геологии и освоения недр: Матер. междуна. научн. симп. – Томск: Изд-во ТПУ, 2006.
2. Плотников Н.И. Техногенные изменения гидрогеологических условий. – М.: Недра, 1989. – 268 с.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ОТКАЧКИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ЗОНЫ ЗАМЕДЛЕННОГО ВОДООБМЕНА ТАЛДИНСКОГО УГОЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ В СВЯЗИ С ДОБЫЧЕЙ МЕТАНА

А.Р. Артюшин

Научный руководитель доцент К.И. Кузеванов  
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

В настоящее время Кузнецкий угольный бассейн рассматривается как крупнейшая сырьевая база для добычи метана из угольных пластов. Прогнозные его ресурсы в этом бассейне составляют более 13 трлн м<sup>3</sup> на площади в 21 тыс. км<sup>2</sup> [2]. Особенно богаты метаном южные районы Кузбасса, среди которых особое место отводится Ерунаковскому промышленному узлу. Приоритетной для опытно-промышленных работ выбрана Талдинская площадь.

Для анализа гидрогеологических условий зоны замедленного водообмена Талдинского угольного месторождения использован программный комплекс GMS (Groundwater Modeling System). Моделируются различные варианты откачек вод из скважины Ум-1 на глубине 800–900 м, что соответствует зоне замедленного водообмена.

Талдинское угольное месторождение входит в состав Ерунаковского геолого-промышленного района южной части Кузбасса. Район характеризуется всхолмленным рельефом и относится в основном к лесостепной ландшафтной зоне, частично захватывая подтаежную переходную зону (центральная часть) и таежную (восточная часть). Абсолютные отметки на основной площади района колеблются от 180–220 м в поймах рек до 320–340 м на водоразделах [1].

Количество атмосферных осадков достигает здесь 600–800 мм в год при испарении 250–350 мм в год. Величина модуля поверхностного стока составляет 10–20 л/с км<sup>2</sup>, подземного – от 3 до 10 л/с км<sup>2</sup>. На поверхностный сток расходуется 60–65 % осадков (300–400 мм в год), на инфильтрацию 70–100 мм в год (12–15 % от атмосферных осадков) [3]. Условия питания подземных вод здесь благоприятные, особенно осенью, когда идут затяжные дожди и снижается испарение. При пониженной мощности рыхлых отложений это ведёт к усилению инфильтрационного питания подземных вод. Густота речной сети достигает более 1 км на км<sup>2</sup>. Подземный сток превышает 20 % от суммарного речного. Наблюдаются весенний и осенний подъёмы уровней подземных вод, хотя весенний слабее осеннего.

По характеру водообмена геологический разрез Талдинского угольного месторождения можно разделить на две неравномерные зоны: активного и замедленного водообмена [2]. Зона активного водообмена занимает верхнюю часть разреза, сложенную рыхлыми мезокайнозойскими (преимущественно четвертичными) отложениями. Мощность зоны на водоразделах 140–180 м; в долинах рек от 60 до 80 м.

Зона замедленного водообмена располагается ниже зоны активного водообмена, охватывая разрез угленосных отложений. На глубине 1400–1500 м она переходит в зону весьма замедленного водообмена. Время движения воды может измеряться геологической шкалой. Зона замедленного водообмена характеризуется низкой степенью изученности. Подземные воды этой части гидрогеологического разреза вскрыты и опробованы на территории всего Ерунаковского промышленного района по редкой сети отдельными глубокими структурно-поисковыми скважинами на уголь и газ, а также более мелкими скважинами. Но откачка воды из скважин практически не проводилась и сведения о дебитах скважин отсутствуют.

Система GMS предназначена для моделирования (в зонах полного и неполного насыщения) движения подземных вод и переноса растворенных в воде компонентов, построения линий токов и т.п. Комплекс включает в себя также средства калибровки модели и визуализации результатов моделирования, инструменты для создания триангуляционной нерегулярной сети, конструирования трехмерных моделей стратиграфии и некоторые другие компоненты. Компонент MODFLOW имитирует трехмерную фильтрацию потока подземных вод в гетерогенной и анизотропной среде. Используется метод конечных разностей. Модель может учитывать влияние на подземные воды водозаборных скважин, областей питания и разгрузки, дрен и различных поверхностных водных объектов [4].

Гидродинамическая модель определена в границах площади, ограниченной речками Черновой Нарык и Талда, как граница первого рода для верхнего слоя модели.

Поверхность рельефа построена по топографической карте масштаба 1:200 000 в виде поверхности TIN (Triangulated Irregular Network). По поверхности TIN программный комплекс GMS вычисляет общую площадь моделируемого участка, учитывая перепады высот. Площадь модели с учётом неровностей рельефа составляет 183,8 км<sup>2</sup>.

Геология модели разбита на восемь субпараллельных слоёв. Первый слой полностью повторяет рельеф местности, учитывая небольшие изгибы рек и долин. Второй – характеризует уровень грунтовых вод, пересекая слой рельефа в местах расположения русел рек и ручьёв. На водоразделах поверхность второго слоя повторяет рельеф, но отметки высот усреднены таким образом, чтобы в минимумах возвышений не было пересечений с поверхностным слоем. Остальные 6 слоёв имеют усреднённые отметки высот относительно второго слоя и параллельны друг другу. Модель охватывает глубины от максимума 416 м, до минимума – 1036 м. Мощность моделируемого участка соответствует глубине геологического разреза для опытно-промышленной площадки Ум-1.

Мощность первого слоя колеблется от 0 до 52 м. Мощность второго, третьего и четвертого слоёв увеличивается от 70 до 100 м. Нижние слои также увеличиваются по своей мощности от 260 до 280 м.

Для поверхности модели задано инфильтрационное питание интенсивностью 0,002 м/сут. Первые два слоя характеризуются безнапорным движением подземных вод и имеют коэффициенты фильтрации 1 и 0,9 м/сут. соответственно. Нижележащие слои являются напорными и характеризуются снижением коэффициентам фильтрации с глубиной от 0,6 до 0,002 м/сут. В центре модели расположена модель скважины, месторасположение которой соответствует координатной привязке работающей опытно-промышленной площадке Ум-1. Расчетная сетка модели в данном месте сгущена в десять раз. Это сделано для отражения более мелких изменений моделируемого

фильтрационного потока, влияющего на скважину. Скважина работает с постоянным расходом  $10 \text{ м}^3/\text{сут}$ . На модели производится откачка из седьмого малопроницаемого слоя с коэффициентом фильтрации  $0,002 \text{ м/сут}$ .

Начальные напоры для каждого слоя соответствуют поверхности рельефа модели. На первом этапе моделируется пространственное распределение естественных напоров без откачки из скважины, для определения расчетных напоров в естественных условиях.

На втором этапе моделируется влияние возмущения скважины на распределение напоров в естественных условиях.

Результат моделирования варианта с наиболее неблагоприятными условиями откачки из слабопроницаемого слоя на абсолютной глубине от  $-531$  до  $-791 \text{ м}$  представлен в изолиниях напоров на рис. 1 и 2. В плане седьмого слоя изолинии напоров более низкого порядка замыкаются вокруг моделируемой скважины (рис. 1). Наблюдается понижение напоров от периферии к центру скважины. В разрезе изолинии напоров представлены в виде овалов, с центром моделируемого возмущения (рис. 2). Коэффициенты фильтрации растут от скважины к периферии. В этом особенность пространственного представления геофильтрационного потока.

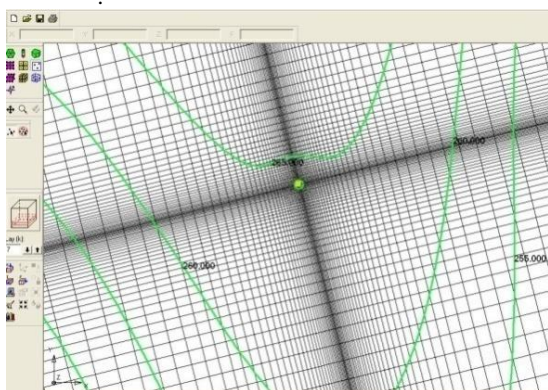


Рис. 1. Изолинии напоров седьмого слоя в плане

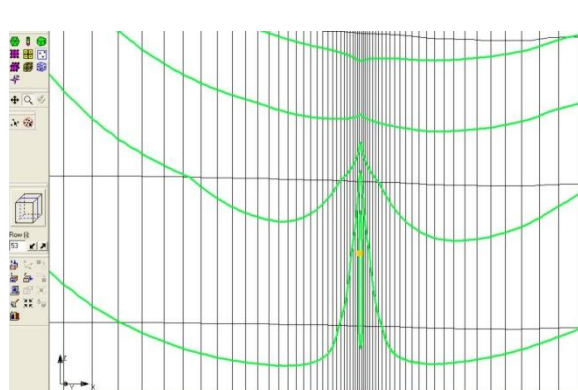


Рис. 2. Изолинии напоров в разрезе

Анализируя полученную схему распределения напоров по глубине можно сказать, что при откачке из слабопроницаемого слоя влияние скважины распространяется на перекрывающий и подстилающий слои.

Тестовое решение задачи выполнено. Построенная модель показывает, что при откачке воды с максимальным расходом  $10 \text{ м}^3/\text{сут}$  из слабопроницаемого слоя в стационарном режиме формируется крутая по форме депрессионная воронка. Распространение её границ и область влияния возмущения зависит от фильтрационных параметров, заданных для каждого слоя модели, и носит весьма локальный характер. Размеры области возмущения не превышает  $150 \text{ м}$ .

#### Литература

1. Рогов Г.М. Гидрогеология и геоэкология Кузнецкого угольного бассейна. – Томск: Изд-во Томского архитектурно-строительного университета, 2000г. – 167 с.
2. Шварцев С.Л., Домрочева Е.В., Кузеванов К.И. и др. Гидрогеология Ерунаковского района Кузбасса в связи с проблемой образования ресурсов и добычи угольного метана // Геология и геофизика. – Новосибирск, 2006г. – №7. – С. 881 – 891.
3. Гидрогеология СССР. Кемеровская область и Алтайский край. / Редакторы М.А.Кузнецова и О.В.Постникова. – М.: Недра, 1972. – том XVII – 399 с.
4. GMS 3.1 Tutorial manual. Brigham Young University – Environmental Modeling Research Laboratory. Оригинальная инструкция пользователя программного комплекса.

### ОСОБЕННОСТИ МИГРАЦИИ УРАНА В ВОДАХ ЮРСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЗАПАДНО-СИБИРСКОГО АРТЕЗИАНСКОГО БАСЕЙНА

А.А. Балобаненко

Научный руководитель профессор Е.М. Дутова

Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Участие подземных вод в формировании эпигенетических месторождений полезных ископаемых общепризнано. Тем не менее, до сих пор недостаточно внимания уделяется получению прямой информации о гидрогеологии и гидрогеохимии рудообразования. Возвращение гидрогеологов к вопросам рудообразования связано с разработкой гидрогеохимического метода поисков месторождений полезных ископаемых, в первую очередь урановых руд, и с получением при этом конкретных данных об участии подземных вод не только в разрушении, но и в формировании полезных ископаемых. Теоретическими предпосылками к постановке исследований гидрогеохимии рудообразования служат идеи В.И. Вернадского, А.И. Германова, А.И. Перельмана, А.К. Лисицина и др. При разработке и применении гидрогеохимического метода поисков урановых руд в научно-исследовательских и производственных организациях накоплена обширная информация об ураноносности подземных вод.

Для исследований форм миграции и условий осаждения урана широко применяется компьютерное моделирование. Моделирование растворения-осаждения проводится путем пошагового приближения системы к состоянию равновесия с учетом безразмерного (или «реального», если включен учет кинетики) времени и приоритета элементарных реакций в зависимости от их относительной скорости протекания, которая оценивается по приближенным зависимостям.

Автором выполнено моделирование форм миграции и процессов растворения-осаждения минералов урана в зависимости от pH и Eh подземных вод юрского комплекса южных районов Западно-Сибирского бассейна, наиболее перспективных на обнаружение урановой минерализации, а также для оценки равновесных концентраций U в растворе. Все расчеты проводились с помощью программного комплекса HydroGeo М.Б. Букаты.

Химический состав вод юрского комплекса приведен в табл. 1.

Таблица 1

Состав подземных вод юрских отложений южных районов Западной Сибири (усредненные данные)

Компонент	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Fe <sub>общ</sub>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	pH	Минерализация
Содержание, мг/л	7987	1040	124	9	571	26	14159	6,8	23915

Моделирование заключалось в задании в составе исследуемого раствора заведомо повышенных содержаний урана и последующем высаживании его минералов. В сводную таблицу выводилось равновесное содержание, состав ионных ассоциатов и комплексов урана, преобладающих в растворе. В принятой области изменения pH от 6 до 8 и Eh от -300 до +300 мВ такой подход не приводит к принципиальным изменениям исходного химического типа вод.

В составе раствора учитывались 12 базовых ионов и 15 произвольных ионов и ионных ассоциатов. В твердой фазе системы рассматривались 14 минералов. Все результаты моделирования приведены в табл. 2. Они свидетельствуют о сложном гидрогеохимическом поведении урана, которое контролируется Eh, минерализацией, составом вод и их pH (в порядке убывания значимости).

Для вод юрского водоносного комплекса, при pH 6–7, основная садка урана осуществляется в области Eh раствора 50–(-200) мВ. Причем наиболее эффективным, если бы в растворе могли накапливаться очень высокие концентрации урана, измеряемые десятками и первыми мг/л, был бы интервал снижения Eh от 50 до -100 мВ, на котором предельные равновесные его содержания снижаются от десятков и первых сотен до десятых долей мг/л. Исходя же из обычно наблюдаемых его содержаний в окислительной обстановке южных районов Западной Сибири, где и осуществляется первичное накопление урана в растворе, основную садку урана можно предполагать в интервале снижения Eh от 50 до 0 мВ при pH 6 и в интервале от 0 до -100 мВ при pH 7. Следовательно, с ростом pH область максимального высаживания урана из раствора при снижении его Eh смещается во все более восстановительную область. При pH 8 ожидаемый интервал максимального накопления урана смещается уже в область снижения Eh от -100 до -200 мВ.

Таким образом, по данным выполненного моделирования, содержания урана в подземных водах юрского комплекса, в зависимости от их pH и Eh, представляющие интерес для обнаружения во вмещающих породах урановой минерализации, являются следующими:

при pH 6 – превышающие  $10^{-4}$ – $10^{-6}$  мг/л, причем только в области Eh ниже 0–(-150) мВ;

при pH 7 – превышающие  $10^{-4}$ – $10^{-5}$  мг/л, при Eh менее -100–(-200) мВ;

при pH 8 – выше  $10^{-4}$ – $10^{-6}$  мг/л, при Eh ниже -200 мВ.

Из приведенного следует, что урановая минерализация должна образовываться, главным образом, в областях местного питания, причем не вблизи поверхности, где уран только накапливается в водах, а на глубинах свыше 300 м, отвечающих указанным переходам окислительно-восстановительного потенциала к восстановительным условиям. Обогащение пород ураном будет протекать и ниже этих глубин, но интенсивность процесса снизится значительно, что потребует еще более замедленного водообмена, т.е. значительно более длительных и стабильно сохраняющихся во времени нисходящих потоков подземных вод.

Результаты моделирования подтвердили, что распределение урана в подземных водах определяется, главным образом, окислительно-восстановительной обстановкой, составом вод, пород и кислотно-щелочными условиями. Как показали результаты моделирования, в восстановительных и слабоокислительных условиях при pH от 6 до 8 преобладающими формами миграции являются гидроокисные комплексы U<sup>4+</sup>, такие как U(OH)<sub>3</sub><sup>+</sup>. С ростом окислительных условий гидроокисные комплексы U<sup>4+</sup> полностью заменяются соединениями U<sup>6+</sup>, а среди всего их многообразия ведущую роль играют карбонатные и гидроокисные комплексы U<sup>6+</sup>.

Приведенное рассмотрение показывает, что гидрогеохимический метод поиска месторождений урана требует принципиальной трансформации с целью резкого повышения его информативности и эффективности. Сегодня уже недостаточно ориентироваться на повышенные концентрации урана и сопутствующих компонентов в составе вод, которые могут формироваться в силу естественных изменений геохимических условий, вне связи с наличием или возможностью образования рудной минерализации.

Таблица 2

Преобладающие формы миграции и равновесные концентрации U в водах юрского комплекса

pH	Eh, мВ	Формы U <sup>4+</sup>		Формы U <sup>6+</sup>										Равновесное содержание UO <sub>2</sub> <sup>2+</sup> в растворе, мг/л
		% общего молярного содержания												
		U(OH) <sub>3</sub> <sup>+</sup>	U(OH) <sub>2</sub> <sup>2+</sup>	UO <sub>2</sub> (CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> <sup>2-</sup>	UO <sub>2</sub> (CO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> <sup>4-</sup>	UO <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> <sup>0</sup>	UO <sub>2</sub> HCO <sub>3</sub> <sup>+</sup>	UO <sub>2</sub> (HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> <sup>0</sup>	(UO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (OH) <sub>3</sub> <sup>-</sup>	UO <sub>2</sub> (OH) <sub>3</sub> <sup>3-</sup>	UO <sub>2</sub> (OH) <sub>2</sub>	UO <sub>2</sub> OH <sup>+</sup>		
6	-300	99,20	0,80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,61E-06
	-200	99,13	0,80	<0,1	<0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	2,59E-6
	-100	35,37	0,29	0,30	64,03	<0,1	<0,1	-	-	-	-	-	-	1,11E-4
	0	0,02	<0,1	0,46	99,51	<0,1	<0,1	<0,1	-	-	-	-	-	0,19
	50	<0,1	-	0,47	99,52	<0,1	<0,1	<0,1	-	-	-	-	-	7,81
	100	<0,1	-	2,15	97,69	0,14	<0,1	<0,1	<0,1	-	<0,1	<0,1	<0,1	71,98
	200	-	-	5,36	92,74	0,87	<0,1	<0,1	0,91	-	<0,1	<0,1	<0,1	423,26
	300	-	-	4,01	92,95	0,47	0,02	<0,1	2,53	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	595,60
7	-300	99,44	0,08	<0,1	0,48	-	-	-	-	-	-	-	-	2,59E-6
	-200	7,43	0,01	<0,1	92,53	-	-	-	-	-	-	-	-	2,46E-6
	-100	<0,1	-	<0,1	99,96	-	-	-	-	-	-	-	-	0,11
	0	-	-	<0,1	99,87	<0,1	-	-	-	-	-	-	-	9,27
	50	-	-	0,31	99,69	<0,1	-	-	<0,1	-	-	-	-	21,15
	100	-	-	1,06	98,36	0,03	<0,1	-	0,54	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	111,36
	200	-	-	0,40	99,59	<0,1	-	-	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	275,96
	300	-	-	1,03	97,06	0,03	<0,1	-	1,87	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	777,16
8	-300	2,13	<0,1	<0,1	97,87	-	-	-	-	-	-	-	-	2,59E-6
	-200	<0,1	-	<0,1	100,00	-	-	-	-	-	-	-	-	0,04
	-100	-	-	<0,1	99,98	-	-	-	-	-	-	-	-	1,59
	0	-	-	0,13	99,84	<0,1	-	-	<0,1	<0,1	<0,1	-	-	255,65
	50	-	-	<0,1	99,97	-	-	-	<0,1	<0,1	-	-	-	410,05
	100	-	-	0,32	91,98	<0,1	-	-	7,56	0,12	<0,1	<0,1	<0,1	448,68
	200	-	-	0,24	21,93	<0,1	-	-	77,40	0,37	<0,1	<0,1	<0,1	609,81
	300	-	-	0,18	18,16	<0,1	-	-	81,12	0,48	<0,1	<0,1	<0,1	741,15

## Литература

1. Букаты М.Б. Численные методы моделирования геомиграции радионуклидов: Учеб. пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2008. – 89 с.

## ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕКИ АБАКАН

К.Ю. Баранова

Научные руководители доцент Ю.Г. Копылова, аспирант Н.В. Гусева

Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

На современном этапе социального, экономического и технического развития нашей страны общество потребляет большое количество водных ресурсов. Развитие хозяйственной деятельности в бассейнах рек приводит к истощению водных ресурсов и нежелательному изменению качества вод. В этих условиях должное внимание необходимо уделять вопросам регионального использования водных ресурсов, оценке водных ресурсов слабоизученных районов и их охране от загрязнения и истощения.

Одним из представителей регионов со слабой изученностью водных ресурсов является Таштыпский район Республики Хакасия. Густота речной сети колеблется от 0,2 до 0,9 км/км<sup>2</sup>. Основной водной артерией Таштыпского район является река Абакан со множеством своих притоков - наиболее крупный в Хакасии приток Енисея,

образованный слиянием рек Большой и Малый Абакан. Общая протяженность реки составляет 514 км, на 295 км из них (до с. Б. Монок) река имеет горный характер. После слияния Большого и Малого Абаканов река принимает относительно крупные реки Она, Джебаш, Таштып, Аскиз, Тесь, Уйбат.

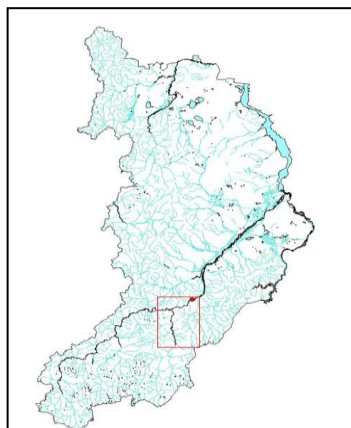


Рис. 1. Бассейн р. Она – приток р. Абакан

Изучение количественных характеристик водных ресурсов данной территории ведется с 1908 года постами Гидрометеорологической службы. С 1997 гг. сотрудниками ТПУ и ТГУ исследуется компонентный состав вод на территории Хакасии. Благодаря этому получен обширный объем информации, который позволяет проследить особенности формирования водных ресурсов и масштабы химического выноса. Контрольный пост на данной реке в пос. Абаза действует с 14.07.1908 г. и находится на расстоянии 2,4 км от устья реки. В створе гидрометрического поста пос. Абазы продольный уклон составляет около 0,002, а ширина русла достигает 230 м при глубине до 2 м. Водосборный бассейн этого поста площадью 32000 км<sup>2</sup> полностью располагается в пределах республики и контролирует около 52 % ее территории.

Для изучения количественных гидрологических характеристик р. Абакан были использованы данные среднемесячных расходов р. Абакан в створе пос. Абаза по двум гидрологическим десятилетиям (1960–1980 гг.). Как показывает анализ гидрографа (рис. 2), построенного по осредненным данным за 2 гидрологических десятилетия, водный режим реки Абакан характеризуется весенне-летним половодьем с максимумом во второй половине мая - начале июня. Летом и осенью начинаются дождевые паводки, максимумы которых в отдельные годы могут превышать подъемы весеннего половодья. В силу этого летне-осенняя межень характеризуется обычно повышенной водностью. Зимняя межень является маловодной. Масштабы составляющих (снегового, дождевого и подземного) питания можно проследить по результатам расчленения гидрографа. На сегодняшний день существует большое количество способов расчленения гидрографа и выделения подземной составляющей питания реки, а единого общепринятого способа расчета не существует. В данной работе было использовано 3 способа расчета доли подземных вод в общем объеме вод реки Абакан: 1 способ, предложенный А.А. Самохиным, основан на использовании линейной интерполяции (подземная составляющая выделяется от начала половодья до конца паводков), 2 способ – по вычислению среднего минимального значения за период исследований и 3 способ – на основе использования наименьшего расхода за весь рассматриваемый период.

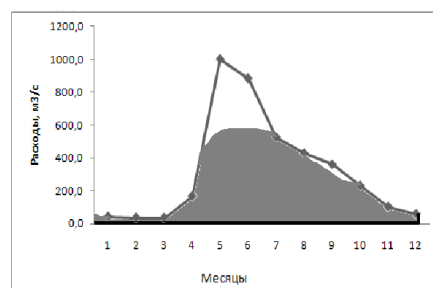


Рис. 2. Гидрограф реки Абакан в створе пос. Абаза, построенный по среднему наименьшему расходу за 1960-1980 гг.

Как показывают результаты расчета (табл. 1), снеговое питание является преобладающим и составляет 67 %, а дождевое – 24 % от общего объема стока. Полученные значения объема подземного питания, вычисленного по анализу средних и минимальных значений расхода реки, достаточно близки, что позволяет принять эти данные для оценки доли подземного питания, в то время как по способу линейной интерполяции получено почти трехкратное превышение этих значений. Исходя из этого, расчет модуля подземного стока целесообразно провести на основе между средним за каждый год и наименьшим расходом за весь рассматриваемый период.

Таблица 1

Расчет составляющих питания реки Абакан

Составляющие питания реки, км <sup>3</sup> /г	Способы расчет подземной составляющей			
	1 способ	2 способ	3 способ	Среднее
Подземная составляющая, км <sup>3</sup> /г	101	37,95	30,1	34,025
Снеговое питание, км <sup>3</sup> /г	181,15	244,2	252,1	248,15
Дождевое питание, км <sup>3</sup> /г	90,5	90,5	90,5	90,5
Итого:	372,65	372,65	372,65	372,65

Выполненные расчеты показывают, что доля подземного питания составляет около 9 % от годового стока. Средний годовой модуль стока по р. Абакан в створе п. Абаза составляет 20,9 л/с·км<sup>2</sup> (ГВК, 1985). Исходя из полученных значений расхода подземной составляющей, отнесенной к площади водосбора, было рассчитано среднее значение модуля подземного стока р. Абакан, которое составило – 3,4 л/с·км<sup>2</sup> при колебаниях значений 3,76 л/с·км<sup>2</sup> при расчетах вторым способом и 2,99 л/с·км<sup>2</sup> по третьему способу расчета подземной составляющей. Полученный порядок цифр в определенной мере согласуется с данными В.П. Зверева по модулю стока в горных районах (4,5 л/с·км<sup>2</sup>).

Для оценки масштабов выноса химических элементов на площади водосбора реки Абакан от истоков до поста в пос. Абаза использованы результаты гидрогеохимического опробования 1997 г. по 16 точкам отбора, расположенные преимущественно в бассейне правого притока р. Абакан-р. Она.

В связи с тем, что на август попадает время летней межени и питание реки в этот период подземными водами существенно увеличивается, химический состав речных вод в этот период наиболее близок составу подземных вод, хотя и значительно разубожен. В бассейне р. Она воды холодные околонеутральные мягкие ультрапресные со средней минерализацией около 50 мг/л, из которой 36 мг/л приходится на гидрокарбонат-ион. Из катионов наибольшие средние значения отмечены для кальция – 9 мг/л при относительно повышенных концентрациях кремния – 3,77 мг/л. На участке разгрузки **подземных вод** в устье р. М. Анзас: в роднике минерализация вод составляет 290 мг/л с той же тенденцией в соотношении анионов, с повышением концентрацией кальция до 60 мг/л и преобладанием кремния относительно магния, натрия и калия. По химическому составу воды поверхностные и подземные гидрокарбонатные кальциевые. В р. Абакан у поста Абаза воды слабощелочные с минерализацией 67 мг/л и средним содержанием кальция около 16 мг/л и кремния 4,5 мг/л. Увеличение содержания элементов в р. Абакан по сравнению с бассейном р. Она не очень существенно и их осредненные данные можно использовать при расчете химического стока с рассматриваемой территории.

Ввиду того, что пробы в данных точках были взяты в августе 1997 г., а при оценке водных ресурсов использовались ряды наблюдений за период 1960–1980 гг., то для оценки масштабов стока химических элементов нами были использованы нормы средних годовых значений расходов воды в створе поста на пос. Абаза, которые составляют 20,9 л/с·км<sup>2</sup> и осредненные данные по составу речных вод р. Она и р. Абакан в августе 1997 г. (по минерализации – 32 мг/л), их произведение дает общую характеристику модуля химического стока в приустьевой части бассейна р. Она, выпадающей в р. Абакан и составляет 0,669 г/с·км<sup>2</sup>.

Таблица 2

Химический состав поверхностных вод бассейна рек Абакан – р. Она

№ п/п	Водоток - пункт	Т <sub>воды</sub> °С	рН ед.рН	Минерализация мг/л	Содержание, мг/л							
					HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Si <sup>+</sup>
1	р. Б. Он, верховье	7	7,3	50	36,6	-*	0,5	1,2	0,5	0,3	10	0,4
2	Приток р. Б. Он	8	7,2	19	12	-	0,4	-	0,5	0,7	5	2,8
3	р. Стоктыш, устье	7,5	7,6	82	61	-	0,6	-	1	0,5	18	4,4
4	р. Сабалкиас, устье	11	7,2	41	31	-	0,4	-	0,8	0,6	7	3,3
5	р. Б. Он	10	7	48	37	-	0,5	-	1	0,7	8	3,4
6	р. Безымянная, приток в р. Б. Он,	7,5	6,8	18	12,2	-	0,4	-	1,3	0,7	2	4,8
7	р. М. Он	10	7,3	68	49	-	0,5	1,8	0,7	0,3	14	5,8
8	р. Она, ниже устья р. Карасума	11	7,4	48	37	-	0,4	-	1	0,3	8	3,2
9	р. Она	8,5	7,2	48	37	-	0,5	0,5	1	0,7	7	4
10	р. Узень-Карасуг, устье	7	7,1	71	49	-	0,4	-	1,5	1	17	5,6
11	р. М. Анзас	10	7,3	100	73,2	-	0,4	-	1,1	0,5	23	4
12	родник в устье р. М. Анзас	4,5	8,7	290	220	-	0,5	-	4	0,7	62	6,3
13	р. Канжуль	9,5	7,5	106	73	-	1,75	-	3,7	0,5	24	7,2
14	р. Абакан, выше пос. Абаза	12	6,8	81	57	-	0,4	-	1,7	0,5	20	5,4
15	р. Абакан, ниже пос. Абаза,	9	7,3	35	24	-	0,4	-	1	0,7	20	5,4
16	р. Джебаш, устье	8	7,8	85	61	-	0,4	-	1,5	0,5	8	4

\*– прочерк означает, что содержание компонента – ниже предела обнаружения

По данным года были рассчитаны величины химического некоторых элементов (табл. 2). В отсутствие материалов, характеризующих состав вод в течение всего года и ввиду непропорциональности изменения содержания отдельных элементов и общей минерализации со стоком речных вод,

Химический вынос за год был оценен в целом для всего района по среднему многолетнему модулю стока (3,4 л/с·км<sup>2</sup>) и осредненным параметрам химического состава подземных вод (родник в устье р. М. Анзас (по минерализации – 180 мг/л). Химический вынос составил порядка 0,612 г/с·км<sup>2</sup>. Сравнивая со значениями химического стока, делаем вывод, что 91 % всех выносимых элементов приходится на подземный химический вынос. При этом литогенная, биогенная и атмосферная части выноса составляют 25 %, 61 % и 14 % соответственно.

По проделанной работе можно сделать следующие выводы: по количественным характеристикам стока и по химическому составу техногенная нагрузка на поверхностные водные ресурсы от истока до поста на пос. Абаза реки Абакан отсутствует, что позволяет на данном этапе развития района установлению фоновых параметров состава природных поверхностных и подземных вод.

Определение степени связи подземных и поверхностных вод, исследование гидрохимического режима этих вод, оценка масштабов подземного стока, увеличение точности расчетов соответствующих материалов являются направлениями дальнейших исследований.



## Литература

1. Государственный водный кадастр. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши, РСФСР. – Бассейн Енисея (без бассейна Ангары). – Л.: Гидрометеоздат, 1985г. – Т.1. – вып.12.
2. Зверев В.П. Роль подземных вод в миграции химических элементов. – М.: Недра, 1982. – 186 с.

**ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД В МЕСТАХ ЗАЛОЖЕНИЯ ШАХТНЫХ СТВОЛОВ****А.В. Ворожев**

Научный руководитель доцент О.М. Гуман

*Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Россия*

Вертикальные шахтные стволы отличаются своей уникальностью и важностью в производственном комплексе горнодобывающего предприятия. Их сооружение является одним из главных звеньев в технической системе горнодобывающего предприятия. Они определяют надежность и эффективность горных работ. Поэтому прогноз устойчивости горных пород в местах заложения этих стволов является актуальной инженерно-геологической задачей. Под устойчивостью горных пород понимается их свойство сохранять форму и размеры обнажений, образуемых при строительстве горных выработок и подземных сооружений [2].

Объектом исследования были горные породы в местах заложения вертикальных горных выработок Юбилейного месторождения, которое расположено на территории Хайбуллинского района Республики Башкортостан, на восточном склоне Южного Урала.

Скважины, пробуренные для инженерно-геологического обеспечения проходки шахтных стволов, в плане располагаются в поле развития вулканогенных пород баймак-бурибайской свиты, часто измененных метасоматическими процессами, несущими колчеданное оруденение. Геологический разрез, вскрытый скважинами, включает четвертичные отложения, представленные континентальными глинами; среднеюрские, преимущественно гравийно-песчаные, гравийно-галечно-валунные, кору выветривания (глинисто-щебенистую, глинистую) по эффузивам и вулканогенные породы баймак-бурибайской свиты, вмещающие колчеданное оруденение.

Согласно генетической классификации вулканогенных пород колчеданных месторождений Урала В.Ф. Рудницкого [4], породы баймак-бурибайской свиты принадлежат к различным группам генетических классов: эффузивной (классы лавовый и лавобрекчий), вулканокластической (лавокластический класс) и вулканосадочной (вулканотерригенный класс), характеризующихся различными условиями образования.

В инженерно-геологическом отношении массив пород Юбилейного месторождения имеет три горно-геологических яруса [3]:

- 1) покровный, сложенный чередованием суглинков, супесей, гравийно-галечниковых отложений и глин;
- 2) промежуточный – выветрелые до состояния глин, дресвы и щебня вулканогенными породами палеозойского возраста;
- 3) основной, сложенный вулканогенными породами, участками метаморфизованными, трещиноватыми и обводненными.

По результатам физико-механических исследований скальные горные породы в целом можно охарактеризовать как прочные, невыветрелые, очень плотные, в основном неразмягаемые. Оценка трещиноватости по керну скважин выполнена с использованием классификации Л.В. Шаумян [5]; в целом преобладают породы сильнотрещиноватые.

Прогнозирование степени устойчивости было выполнено с помощью эмпирических классификаций. Метод сводится к использованию классификации скальных массивов путем быстрой, но приближенной оценки геологических факторов, существенно влияющих на свойства массива, и корреляции выделенных категорий массивов с геомеханическими свойствами и оптимальными проектными решениями [1]. По существу он является инженерно-геологическим экспресс-методом, позволяющим путем интерпретации результатов обычных геологических наблюдений и описаний разведочных выработок оценить свойства скальных массивов с учетом их неоднородности для последующих оптимальных проектных решений.

Развитие и внедрение в проектирование многочисленных эмпирических классификаций настоятельно требует проведения их сравнительного анализа, уточнения потенциальных возможностей и ограничений по сравнению с традиционными методами, а также оценки надежности путем изучения опыта их применения.

Прогноз устойчивости выполнялся на основе трех эмпирических классификаций:

по СНиП II 94-80 «Подземные горные выработки» с разделением на 4 категории по критерию устойчивости С;

классификацией скальных массивов по Биенявскому с разделением на 5 классов по рейтингу RMR;

классификацией скальных массивов по Бульчеву с разделением на 5 категорий по рейтингу S;

По результатам расчета устойчивости были получены следующие данные, представленные в табл..

Расчет устойчивости горных пород ствола скважины по трем эмпирическим классификациям показал, что породы по скважине ЗЮ, в основном, неустойчивые; это связано с высокой степенью трещиноватости пород. Недостатками и достоинствами методов являются:

- для классификации по СНиП 90-84 это то, что учет геостатического давления нивелирует другие факторы: прочность, обводненность, трещиноватость; к достоинству данного метода относится учет техногенных факторов, таких как коэффициенты воздействия на стволы других выработок ( $K_{\text{сб}}$ ), в том числе на ствол очистных работ ( $K_{\text{ч}}$ ) и коэффициент влияния времени эксплуатации выработки ( $K_{\text{в}}$ );

- для классификации по Биенявскому достоинством является учет широкого спектра факторов инженерно-геологических условий, в основном параметров трещиноватости; к недостаткам, относится отсутствие учета изменения геостатического давления с глубиной; параметр RQD очень зависит от технологии и техники бурения; угла падения слоев и контактов по отношению к оси скважины; применение его в качестве основного количественного параметра

степени трещиноватости при классификации пород приведет к искажению количественной оценки степени трещиноватости пород; в классификации Биенявского RQD определяет до 30 % балльности пород;

- для классификации по Булычеву достоинством метода является, то, что в ней учитываются все параметры трещиноватости, влияющие на устойчивость горной выработки.

В классификациях по Булычеву и Биенявскому не учитывается геостатическое давление, так как они были разработаны для горизонтальных выработок.

Таблица

Категории устойчивости пород по скважине 3Ю

Интервал, м		Категория по СНиП II 94-80	Категория по Булычеву Н.С.	Категория по Биенявскому
От	До			
0,0	83,8	IV	V	V
83,8	102	I	IV	IV
102	130	I	IV	IV
130	153	I	IV	III
153	160	I	IV	III
160	165	I	IV	IV
165	184,5	I	IV	IV
184,5	191	I	IV	IV
191	221,3	I	IV	III
221,3	265	II	IV	III
265	277,3	IV	IV	IV
277,3	295	II	IV	III
295	310,9	II	IV	IV
310,9	314,4	III	IV	IV
314,4	319,2	III	IV	IV
319,2	336,4	II	IV	IV
336,4	340	III	IV	IV
340	352,9	III	IV	III
352,9	361	IV	IV	IV
361	379,6	III	IV	III
379,6	389,4	IV	IV	IV
389,4	420	IV	IV	IV
420	423,2	II	IV	III
423,2	466,3	II	IV	IV
466,3	472,4	III	IV	III
472,4	483,8	IV	IV	IV
483,8	530	III	IV	IV
530	554,2	IV	IV	IV
554,2	570,2	III	IV	III
570,2	615	III	IV	IV
615	650	III	IV	III

Таким образом, недостатком этих эмпирических методов является часто очень упрощенная классификация массивов. Несколько упрощена и общая картина геологических факторов. Так, из всех структурных факторов учитываются только трещины и не принимаются во внимание такие структурные элементы, как разрывные нарушения, складки, дайки и др. Обычно недооцениваются анизотропия свойств, напряженное состояние массива и сейсмический фактор.

## Литература

1. Варга А.А. Эмпирические классификации скальных массивов //Геозекология. – М., 1995. – №. 2. – С. 27-43.
2. Булычев Н.С. Механика подземных сооружений – М.: Недра, 1982.
3. Панюков. П.Н. Инженерная геология. – М.: Недра, 1978. – 296 с.
4. Рудницкий В. Ф. Палеовулканологический анализ как метод изучения месторождений полезных ископаемых (на примере колчеданных рудных полей Южного Урала). – Екатеринбург: УГГУ, 2007 – 188 с.
5. Шаумян Л. В. Природа физико-механических свойств массивов горных пород. – М.: Изд-во МГУ, 1988. – 192 с.

**ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ЮЖНОГО УРАЛА  
(НА ПРИМЕРЕ РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН)****И.Н. Гайнанова****Научный руководитель профессор С.К. Мустафин  
Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия**

В соответствии с принципами структурно-гидрогеологического районирования на территории Башкортостана выделяются Волго-Уральский сложный артезианский бассейн, относящийся к системе бассейнов Восточно-Артезианской области, и Уральская гидрогеологическая складчатая область.

Волго-Уральский артезианский бассейн геотектонически отвечает одноименной антеклизе, Предуральскому прогибу и западному склону Урала. Он состоит из двух структурных этажей: нижнего – фундамента, представленного кристаллическими образованиями архея-раннего протерозоя, и верхнего – чехла, сложенного осадочными толщами позднего протерозоя, палеозоя и мезозоя-кайнозоя. Литологически осадочный чехол – это в основном карбонатные, в меньшей степени терригенные и галогенные породы от 1,7–4 км на сводах (Татарском, Пермско-Башкирском) до 8–12 км во впадинах (Верхне-Камской, Бельской, Юрюзано-Сылвинской).

Волго-Уральский бассейн разделяется на Волго-Камский и Предуральский артезианский бассейны второго порядка, отвечающие соответственно юго-восточному склону Русской плиты, Предуральскому краевому прогибу и Западно-Уральскому адартезианскому бассейну.

По характеру скоплений в Волго-Уральском бассейне выделяются воды порового, порово-трещинного, трещинного и трещинно-карстового классов пластового типа. Наиболее широко развиты они в палеозойских отложениях Волго-Камского и Предуральского бассейнов. В Западно-Уральском адартезианском бассейне, представляющем собой систему линейной складчатости, сложенную карбонатными и терригенными породами карбона и девона, доминируют пластовые трещинно-карстовые и трещинные воды [2].

Распределение подземных вод в осадочной толще Волго-Уральского бассейна контролируется вертикальной гидродинамической и газогидрогеохимической зональностью, отражающими историю его гидрогеологического развития и современные процессы в системе вода-порода-газ-органическое вещество [5]. Суть их заключается в последовательном замещении с глубиной гидрокарбонатных вод (до 1 г/л) сульфатными (1–20 г/л), сульфатно-хлоридными (5–35 г/л) и хлоридными (35–400 г/л). Одновременно происходит смена водорастворенных газов от кислородно-азотного до сероводородно-углекисло-метаново-азотного, азотно-метанового и метанового, снижение величин Eh (от +650 до –450 мВ) и pH (от 9 до 5).

В осадочном чехле Волго-Уральского бассейна выделяются два гидрогеохимических этажа, которые по своему объему в целом соответствуют гидрогеодинамическим этажам. Верхний этаж (300–400 м, редко более) включает преимущественно инфильтрационные кислородно-азотные (азотные) воды различного ионно-солевого состава с минерализацией, обычно не превышающей 10–12 г/л. В гидрогеодинамическом отношении — это зоны интенсивного и затрудненного водообмена. В пределах нижнего этажа залегают высоконапорные, главным образом хлоридные, рассолы различного происхождения (седиментогенные, инфильтрационные, смешанные) с концентрацией солей до 250–300 г/л и более, а водорастворенные газы (H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>) отвечают восстановительной геохимической среде, обстановкам весьма затрудненного водообмена и квазистационарного режима недр. В пределах этажей по химическому составу и степени минерализации выделяются четыре зоны – гидрокарбонатная, сульфатная, сульфатно-хлоридная и хлоридная, которые в свою очередь подразделяются на ряд подзон по катионному составу вод.

Зона пресных (до 1 г/л) гидрокарбонатных (питьевых) вод приурочена к породам широкого возрастного диапазона (от четвертичных на платформе до девонских на западном склоне Урала) и в гидрогеодинамическом отношении соответствует зоне интенсивной циркуляции. Мощность ее колеблется от 20–50 м в долинах рек до 150–200 м на водоразделах, а на Уфимском плато достигает 500–800 м. Скорости движения вод в зависимости от фильтрационных свойств пород и гидравлического градиента изменяются от десятков и сотен метров до десятков километров в год, а сроки полного водообмена – от десятков до первых сотен лет.

В составе гидрокарбонатной зоны выделяются две подзоны: верхняя — кальциевых (магниево-кальциевых) и нижняя – натриевых вод. Мощность зоны гидрокарбонатных кальциевых вод колеблется от 10 до 150 м, а гидрокарбонатных натриевых – от 20 до 100 м и редко более (Юрюзано-Айская впадина). Минерализация гидрокарбонатных кальциевых вод от 0,2 до 0,7 г/л, а натриевых (содовых) вод обычно составляет 0,5–0,9 г/л, но в отдельных случаях достигает 1,2–1,7 г/л. В генетическом отношении чистые содовые воды тесно связаны с терригенными существенно глинистыми пермскими формациями, представленными переслаиванием песчаников, алевролитов, аргиллитов и глин. Породы обладают довольно низкими фильтрационными свойствами и невысокой водообильностью. Газовый состав гидрокарбонатных вод отвечает окислительной геохимической обстановке: N<sub>2</sub> 30–35, CO<sub>2</sub> 5–30, O<sub>2</sub> до 10 мг/л. Газонасыщенность обычно 15–50 мл/л, Eh +100...+650 мВ, pH 6,7–8,8, T 4–6 °C.

Зона сульфатных солоноватых и соленых вод развита повсеместно, исключая очаги природного и техногенного (районы некоторых нефтяных месторождений) влияния глубинных рассолов. К ней относятся сульфатный и гидрокарбонатно-сульфатный классы вод с минерализацией от 1–3 до 15–20 г/л, формирующиеся в окислительной геохимической среде главным образом в пермских гипсоносных отложениях. В гидрогеодинамическом отношении она отвечает как зоне интенсивной циркуляции (выше вреза эрозионной сети), так и зоне затрудненного водообмена, где скорости движения подземных вод снижаются до десятков метров в год, а время полного водообмена, напротив, возрастает до сотен и тысяч лет [2].

Глубина залегания сульфатных вод изменяется от 0 до 250 м и более. Средняя мощность зоны составляет около 100–150 м. В пределах зоны заключены основные ресурсы лечебно-питьевых вод инфильтрационного происхождения,

ведущую роль в формировании состава которых играют процессы экстракции из пород гипса и ионообменные явления с участием поглощенного комплекса пород [1].

Минерализация вод верхней подзоны обычно не превышает 2,5–2,6 г/л. Это типичные воды выщелачивания гипсов, загипсованных терригенных и карбонатных пород, в составе которых преобладают сульфат-ион (до 80–90 %), кальций и магний (до 90–98 % суммарно). Мощность подзоны изменяется от 10 до 100 м.

Сульфатные натриевые воды нижней подзоны приурочены исключительно к терригенным гипсоносным пермским осадкам лагунно-морского происхождения, залегающим ниже днищ основных рек региона. Наиболее развиты они в верхнепермских отложениях на западе региона, где глубина залегания кровли подзоны изменяется от 10–20 м в долинах рек до 200 м на водоразделах. Мощность ее в среднем 100 м. В Предуральском бассейне сульфатные натриевые воды вскрываются на глубине до 100–300 м; мощность подзоны здесь может достигать 120–150 м.

Минерализация сульфатных натриевых вод колеблется от 1,4 до 20, обычно 3–10 г/л, причем рост ее происходит с глубиной. При величине минерализации до 6,0–6,5 г/л воды по катионному составу обычно кальциево-натриевые или смешанные (трехкомпонентные). В более минерализованных водах ведущее значение среди катионов принадлежит натрию (до 85–90 %), что в абсолютном выражении составляет 4–5 г/л. Образование сульфатных натриевых вод обусловлено двумя взаимосвязанными и взаимообусловленными процессами, стимулирующими друг друга: экстракцией  $\text{CaSO}_4$  и обменной адсорбцией между кальцием раствора и натрием поглощенного комплекса пород [5].

Дифференцированные поднятия и опускания неогенового и четвертичного времени превратили Южный Уральский ороген в основной регулятор и распределитель стока поверхностных и подземных вод, оказывающий большое влияние на Волго-Камский артезианский бассейн.

Новейшая тектоника оказывает влияние на карстовые процессы, карстовую гидрологию всего Южного Урала и Предуралья. Наибольшее распространение карстовые формы рельефа имеют в районах более активного проявления восходящих движений земной коры. Известно, что в долинах равнинных и горных рек карстовые пещеры открываются своими устьями на уровне плиоценовых и четвертичных террас. Примерно один раз в 5–6 лет на территории РБ возникают крупные провалы диаметром более 10 м. Последний такой крупный провал произошел на юго-восточной окраине с. Иглино (п. Ягодный, ул. Ушакова, 8) в сентябре 2007 г.. Первоначальный его поперечник при глубине 7 м равнялся 12 м. К 14.10.2007 размеры его поверхности составляли 25×28 м, а глубина – 12,5 м. В провал упала автомашина «Газель» и строительный вагон. Вдоль берега воронки имеются трещины отрыва и радиальные трещины от нее, которые могут спровоцировать новые карстовые процессы. То есть оценка риска опасности карста для территории РБ не теряет своей актуальности и сегодня.

Гидрогеологические условия Уральской гидрогеологической складчатой области определяются условиями формирования подземной гидросферы в бассейне трещинно-жилльных вод, который в геоструктурном отношении охватывает Центрально-Уральское поднятие и Магнитогорский прогиб [3, 4]. Сложные гидрогеологические условия региона обусловлены разнообразием вещественного состава магматических, метаморфических и осадочных пород, различной степенью их тектонической дислоцированности и трещиноватости, своеобразием условий питания, движения и разгрузки подземных вод. В отличие от Волго-Уральского артезианского бассейна со сложениями вод пластового типа, здесь преимущественным развитием пользуются трещинно-жилльные скопления вод: регионально-трещинные зон выветривания и локально-трещинные зон тектонических нарушений. Концентрация подземного стока происходит в межхребтовых понижениях, зонах тектонических нарушений, контактов, жил и даек, обладающих повышенной трещиноватостью и водообильностью. Дебиты естественных источников здесь достигают 3–5 л/с и более, а удельные дебиты неглубоких скважин (до 50–80 м) – 1–2 л/с. С глубиной удельные дебиты скважин уменьшаются. Ниже зоны региональной трещиноватости локально-трещинные воды могут быть вскрыты только в зонах тектонического дробления и расщепления пород. Зоны сульфатно-хлоридных и хлоридных соленых и рассольных вод – основные в гидрогеохимическом разрезе региона. Общая мощность их составляет более 90% мощности осадочного чехла региона [2].

Распределение эксплуатационных запасов на территории Республики Башкортостан крайне неравномерно. Основную часть запасов – около 2200 тыс. м<sup>3</sup>/сут. (86 %) составляют 27 месторождений в речных долинах с полным или частичным восполнением за счет транзитного стока: р. Белая – 776, р. Уфа – 989; рр. Инзер+Зилим – 147, р. Ик – 83, р. Дема – 72 тыс. м<sup>3</sup>/сут. и другие. Все эти месторождения разведывались для крупных городов, райцентров и групповых водопроводов. Наиболее крупные запасы по месторождениям (тыс. м<sup>3</sup>/сут.): Уфимское – 704,4; Зирганское – 435,0; Южно-Уфимское – 285,0; Инзерское – 106,4.

В ограниченных структурах и массивах карстово-трещинных пород наиболее значительные месторождения (тыс. м<sup>3</sup>/сут.): Суккуловское – 32,7; Мартыновское – 17,4; Кидашское – 12,8; Кош-Елгинское – 13,9; Маячное – 11,8. Из них первые четыре формируются в основном на родниковом стоке [2].

Наибольший интерес представляет крупнейший карстовый родник в мире – Красный ключ. На Уфимском плато трещинно-карстовые воды известняков нижнепермского возраста дают мощные родниковые выходы до 2000 л/с, а меженный расход составляет 5–6 тыс. м<sup>3</sup>/сут.

#### Литература

1. Абдрахманов Р.Ф., Попов В.Г. Минеральные лечебные воды Башкортостана. – Уфа: ГИЛЕМ, 1999. – 208 с.
2. Абдрахманов Р.Ф., Чалов Ю.Н., Абдрахманова Е.Р. Пресные подземные воды Башкортостана. – Уфа: Информреклама, 2007. – 183 с.
3. Буданов Н.Д. Гидрогеология Урала. – М.: Наука, 1964. – 304 с.
4. Гидрогеология СССР./ Под ред. Б.А. Зубровой. – М.: Недра, 1972. – 344 с.
5. Попов В.Г. Гидрогеохимия и гидрогеодинамика Предуралья. – М.: Наука, 1985. – 278 с.

**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПОЛЕВЫХ МЕТОДОВ РАСЧЛЕНЕНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО РАЗРЕЗА ПРИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЯХ****Е.Е. Дмитриева**Научный руководитель доцент Т.Я. Емельянова  
*Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

Под расчленением геологического разреза понимается определение границ между категориями грунтов для изучения закономерностей его строения.

При проведении инженерно-геологических исследований для изучения и расчленения геологического разреза можно применять:

- бурение горных выработок;
- пенетрацию (статическое и динамическое зондирование);
- геофизические методы.

Границы между литологическими разновидностями по результатам бурения определяет геолог при детальном рассмотрении керна. Этот метод очень субъективен. Все зависит от опыта и компетенции геолога.

Зондирование – это погружение зонда в грунт и определение сопротивления грунта этому задавливанию. Сопротивление задавливанию зависит, в основном, от литологии грунта. В отличие от традиционных методов полевых исследований, с помощью которых получают характеристики пород в отдельных точках массива, динамическое и статическое зондирование являются методами непрерывного изучения свойств по разрезу [1].

Границы между литологическими разновидностями по результатам статического и динамического зондирования определяются по данным зондирования, представленным в виде графиков с кривой сопротивления грунтов, которая идентифицируется в зависимости от сопротивления. Здесь тоже присутствует некоторый субъективизм, поскольку нет точных указаний к форме и значениям кривой для определенного вида грунта. Однако при этом можно использовать накопленный большой объем разных форм кривых для различных слоев грунта.

Рекомендуется сопоставлять результаты зондирования с результатами бурения.

В данной работе приведены сведения по результатам применения таких методов, как бурение скважин, статическое и динамическое зондирование.

На территории (ЗАТО) в 35 км к северу от города Северска Томского района, на правом берегу реки Томь проводились изыскания под строительство АЭС (место прохождения производственной практики). Для расчленения геологического разреза применялись бурение 5 скважин, статическое и динамическое зондирование. Автор выполнила обработку полученных данных.

В целом геологический разрез данной территории представлен переслаиванием суглинков, супесей и песков; разрез очень пестрый и точное расчленение имеет большое значение.

Многу было проведено сравнение совпадений границ между литологическими разновидностями, полученными разными методами, построены графики зависимости сопротивления грунтов от глубины при зондировании, выполнен анализ, определены характерные формы кривых для разных литологических разновидностей.

Анализируя график сопоставления полученных границ между литологическими разновидностями при бурении, статическом и динамическом зондировании (рис. 1), можно сказать, что зондирование расчленяет разрез с небольшим уточнением, но достаточно близко с бурением. Это хорошо заметно в скважинах 1–2, 3–2. Но в скважинах 1–3, 2–3 и 4–3 заметны сильные расхождения между границами, проведенными по результатам бурения и зондирования. Это очень осложняет ситуацию, поскольку для выделения отдельного инженерно-геологического элемента достаточно прослоя грунта в 20 см, а в данных по скважинам расхождение доходит до 1–1,5 м. Подобное несоответствие может быть вызвано тем, что нередко при расчленении геологического разреза при бурении достаточно сложно различить переход разновидностей. Для наиболее точного расчленения разреза при бурении геологу необходим огромный опыт и четкое зрение. Расчленяя графики с кривых зондирования, прослой заметить намного проще, так как кривая может значительно изменять свою форму, показывая различия сопротивлений в разных слоях грунта. Причиной расхождения в результатах расчленения геологического разреза можно также считать наличие по разрезу включений растительных остатков, поскольку геологический разрез данной территории богат ими.

Также значительное расхождение между литологическими границами при бурении и зондировании может быть обосновано происхождением грунтов. Грунты в скважинах 1–3, 2–3 и 4–3 – это отложения второй надпойменной террасы р. Томи. При накоплении осадка размер накапливаемых частиц очень часто и сильно изменялся в зависимости от водности и изменения русла реки. При бурении это не сильно заметно, но на графике сопротивлений зондированию, оно проявляется в скачках значений сопротивлений. Это позволяет расчленять разрез точнее.

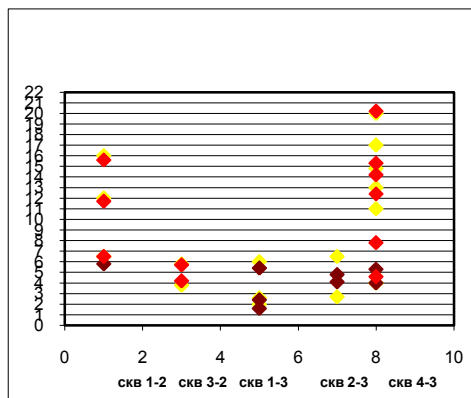
При построении графиков зависимости сопротивления грунтов в скважинах от глубины их залегания логично было бы иметь картину увеличения сопротивления грунтов с глубиной, что и наблюдается в скважине 3–2, 1–3.

Но на примере скважины 1–2 мы видим обратную зависимость – с глубиной у одного и того же грунта сопротивление становится меньше. Так в скважине 1–2 (неогеновый по возрасту песок мелкий) на глубине 10 м величина сопротивления составила 7 МПа, а на глубине 15,5 м – уменьшилось до 4 МПа. Сопротивление песка, средней крупности на глубине 9,5 м составляло 9 МПа, а на глубине 21 м – 4,8 МПа. Разуплотнение песка, видимо, происходит вследствие наличия в грунте включений органических остатков, а, возможно, оно связано с наличием грунтовых вод, которые также способны разуплотнять грунт.

Автором предлагаются индикационные кривые, полученные по результатам зондирования для разных литологических разновидностей (рис. 2). Анализируя полученные графики, можно сказать, что для разных разновидностей характерна определенная форма кривой. Для суглинка – это резкая пилообразная форма, с перепадами значений сопротивления до 10–12 МПа (кривые от 2–8 МПа до 4–17 МПа). Это зависит, скорее всего, от происхождения грунтов. В одном случае они озерно-аллювиальные, а в другом – отложения второй надпойменной террасы р. Томи.

Малы значения сопротивлений суглинков в скважинах 3–2, 1–2 что объясняется наличием в них органики. Большой скачок сопротивления суглинка в скважине 1-3 можно объяснить наличием включений более плотной супеси.

Для песков мелких характерна пилообразная форма кривой, интервалы колеблются в очень близких пределах (2–5 МПа). С глубиной сопротивление песков немного увеличивается, что логично, поскольку при этом закономерно возрастает плотность грунтов.



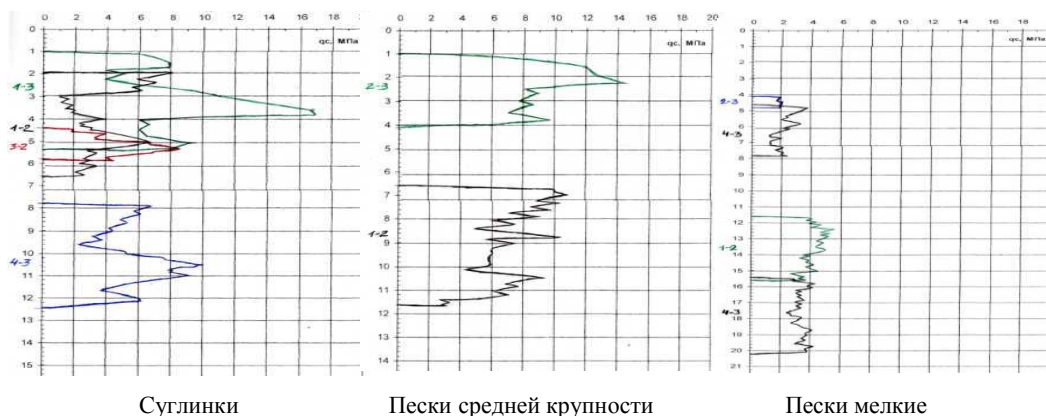
**Рис. 1. Расчленение геологического разреза (определение границ между литологическими разновидностями разными методами)**

- ◆ - положение границ по результатам бурения
- ◆ - положение границ по результатам статического зондирования
- ◆ - положение границ по результатам динамическом зондирования

Форма кривой для песков средней крупности скорее напоминает щетку, как и у песков мелких, но колебания происходят в более широких пределах от 4–10 МПа до 8–14 МПа. Для среднезернистых песков характерно наличие множества пик; это связано с включениями более крупных зерен.

Проведя сравнительную характеристику расчленения геологического разреза разными методами, трудно определить преимущество какого-либо метода. Если использовать только зондирование, то возникнут трудности с определением вида грунта. Применять бурение скважин и зондирование предпочтительней комплексно, т.к. зондирование является уточнением к расчлененному разрезу в процессе бурения скважин.

Благодаря проведенному анализу форм и интервалов значений кривых зондирования для данной территории, на следующих этапах изыскания можно сократить объем бурения, или же не проводить зондирование у каждой скважины, как принято в нормативных документах (не далее 5 м от скважины), а проводить испытания между скважинами. Результаты этих исследований будут использоваться в дипломной работе.



**Рис. 2. Индикационные формы кривых зондирования для различных литологических разновидностей (изменение сопротивлений по глубине разреза)**

Литература

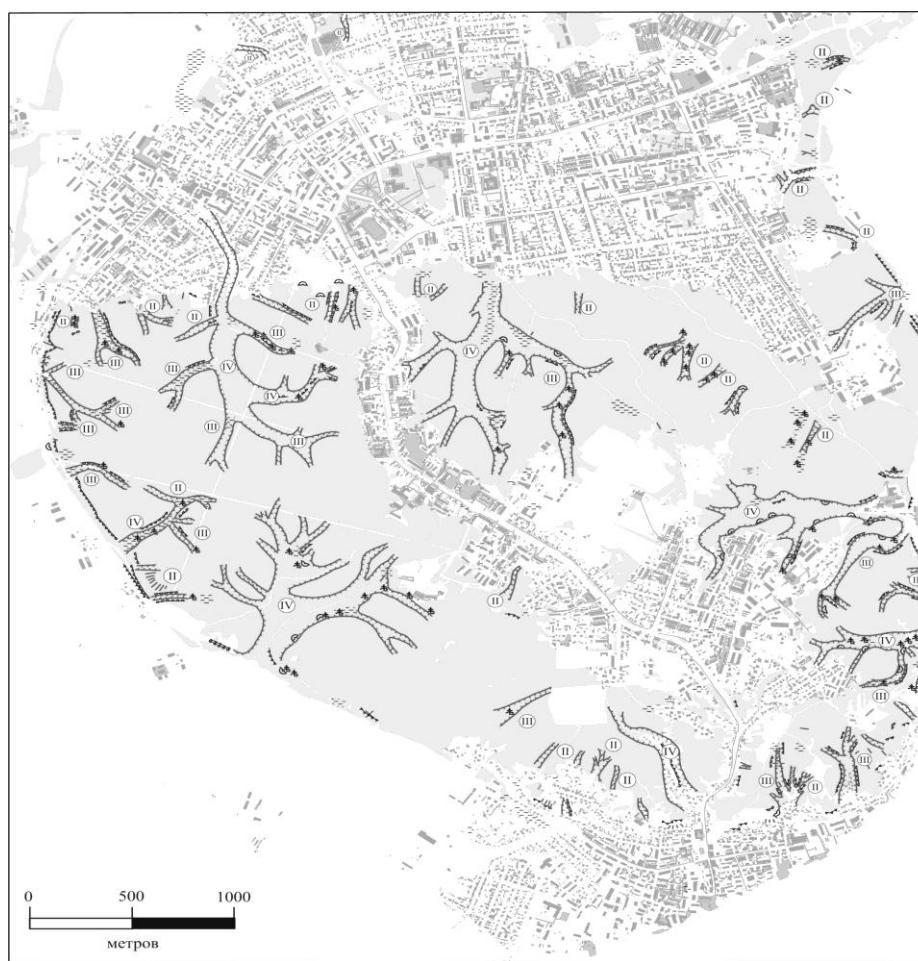
1. Бондарик Г.К., Комаров И.С., Ферронский В.И. Полевые методы инженерно-геологических исследований. – М: Недра, 1967, – 372 с.

## ОПАСНЫЕ ПРИРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ И ЯВЛЕНИЯ В ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЕ Г. ХАНТЫ-МАНСИЙСКА

Д.В. Жданов, И.А. Савинцев, Е.М. Тактуев

Научные руководители профессор О.Н. Грязнов, доцент И.В. Абатурова  
Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Россия

В геологическом отношении территория г. Ханты-Мансийска представлена двумя различными комплексами пород: породами аллювиального генезиса террасового комплекса р. Иртыш и породами озерно-морского генезиса V террасы Самаровского поднятия. Следует отметить, что различие геологических условий в пределах выделенных комплексов заключается не только в генезисе пород, но и в условиях их залегания. Разрез террасового комплекса довольно прост и характеризуется выдержанными территориально и по мощности геологическими слоями пород. Разрез Самаровского поднятия более сложен, для него характерны невыдержанные по мощности слои, частое переслаивание пород в результате фациального замещения, их несогласное залегание, наличие в разрезе разрозненных водоносных горизонтов, приуроченных к линзам и прослоям песчаного и галечникового материала.



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

	Контурсы оврагов, установленные по результатам маршрутных наблюдений		Стадия развития оврага:
	Опасные инженерно-геологические процессы:		врезания вершинной;
	- локальные оползни;		висячего русла;
	- участки оползневых склонов;		стабилизации
	- участки осыпных склонов;		
	- сползание растительности;		
	- заблаговременное		

Рис. Схема развития опасных процессов на территории г. Ханты-Мансийска

Город Ханты-Мансийск последнее десятилетие интенсивно застраивается. Изыскателям и проектировщикам пришлось столкнуться с рядом опасных природных и техноприродных процессов. Это, прежде всего, сложноразветвленная овражно-балочная сеть, оползни, подтопление.

На территории города установлено более 50 эрозионных форм – логов, оврагов, промоин. Практически все овраги относятся к склоновому типу. Большинство из них сосредоточено в юго-западной, южной и юго-восточной частях Самаровского останца, где градиент перепада высот благоприятствует активному развитию эрозионных процессов. Инструментальные замеры морфометрических характеристик, включающих длину оврага и его отвершков по тальвегу, глубину вреза, ширину по тальвегу и бровке, угол наклона бортов, выполнены по 21 оврагу. Результаты обследования позволили авторам установить: стадию развития оврага, его продольный профиль, характер эрозии, развитие других экзогенных процессов в бортах оврага. Для оврагов Самаровского останца характерны стадии развития от II (врезание вершины) до IV (равновесия, стабилизации) стадии развития. Всего выполнено 216 маршрутных наблюдений с шагом 50–75 м. Наблюдения производились как по основному руслу оврага, так и в отвершках с установлением их порядков. По результатам работ построена схема эрозионной сети и сводная таблица морфометрических характеристик овражной сети г. Ханты-Мансийска (рис.).

Овраги IV стадии развития являются наиболее протяженными. Их профиль трапецеобразный, редко переходящий в V-образный ближе к истоку. Глубина вреза основного русла достигает 37 м. Преобладает слабая боковая эрозия, борта оврага укреплены древесной и кустарниковой растительностью. Донная эрозия развита слабо, ее интенсивность увеличивается в период сильных ливней. Нередко дно оврагов заболочено, что вызвано затрудненностью транзита атмосферных осадков в связи с незначительным уклоном поверхности по дну оврага и его «захлапленностью» упавшими деревьями. Переувлажнение грунтовых масс на склонах нередко приводит к их пластичному оплыванию. Для оврагов IV стадии характерно наличие значительного количества отвершков, их общее число достигает 16, длина изменяется от 40 м до 600 м. Профиль отвершков V-образный, глубина вреза от 1 м до 19 м. Большинство отвершков 1-го порядка, реже отмечены отвершки 2-го и крайне редко 3-го порядка.

Овраги III типа, находящиеся в стадии висячего устья, имеют меньшие размеры, характеризуются широким распространением в пределах исследуемой территории. Им свойственно меньшее количество отвершков. Последние, в основном, не превышают первый порядок. Размеры отвершков изменяются от 18 до 170 м, глубина вреза, как правило, не более 15 м. Из других процессов в оврагах данного типа преобладают осыпи, оплывины, в меньшей степени заболачивание.

Овраги II стадии врезания вершины сосредоточены на южном склоне Самаровского останца. Отличительная их особенность – большие углы наклона их бортов, достигающие иногда 70°. Это связано с преобладанием донной эрозии при высокой скорости развития. Низкая степень проявления других экзогенных процессов вызвана хорошей дренируемостью. Морфометрические характеристики овражных форм в зависимости от стадии развития приведены в табл.

Гравитационные процессы (оползни, оплывины, осыпи) распространены на крутых склонах Самаровского останца и в бортах оврагов. На основе реперных наблюдений в июле-сентябре 2008 г. в юго-восточной и южной частях Самаровского останца авторами установлены основные причины активизации оползневых движений: замачивание или переувлажнение грунтовых масс, действие сил тяжести на крутых склонах, техногенный фактор.

Интенсивность подвижек неравномерна во времени. Основные движения характерны для влажного летнего периода при выпадении атмосферных осадков и просачивании подземных вод. Максимальные значения подвижек грунтовых масс за летний период зафиксированы на участке склона, подрезанного при строительстве новой объездной автодороги, они составили 13,9–14,9 см.

Опасности и риски, связанные с овражной эрозией и сопряженными склоновыми явлениями, обусловлены развитием зон разуплотнения пород вдоль бортов оврагов шириной 100–150 м, выявленных сейсмическими наблюдениями. В их пределах оказываются массивы домов старой застройки и современные здания, подверженные деформациям.

**Таблица**  
**Изменение морфометрических характеристик овражной сети г. Ханты-Мансийска в зависимости от стадии развития**

Стадия развития оврага	Морфометрические характеристики				
	Длина, м	Глубина вреза, м	Ширина по бровке, м	Ширина по дну, м	Угол наклона бортов
VI	375-2050	5-37	45-364	5-115	8-70
III	80-425	1,5-19	10-132	2-15	9-60
II	30-110	1-11	2-69	1-10	13-70

Подтопление и заболачивание территории г. Ханты-Мансийска обусловлены затрудненностью транзита поверхностного стока в результате городской застройки на плоских поверхностях, на участках выхода подземных вод вследствие эрозионного вскрытия линз водонасыщенных грубообломочных отложений. Переувлажнение грунтов влечет потерю их несущей способности и, как следствие, развитие деформаций зданий и инженерных сооружений.



## РЕСУРСНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ НИЖНЕКАЗАНСКОГО ВОДОНОСНОГО КОМПЛЕКСА В ВОСТОЧНО-ЗАКАМСКОМ РЕГИОНЕ ТАТАРСТАНА

А.Р. Зайнуллин

Научный руководитель доцент Р.Х. Мусин

*Казанский государственный университет им. В.И. Ульянова-Ленина, г. Казань, Россия*

Восточно-Закамский регион Республики Татарстан расположен в восточной части Волго-Уральской антеклизы Русской платформы, в пределах Бугульминско-Белебеевской возвышенности (Камско-Вятский артезианский бассейн). Регион характеризуется площадью 20,7 тыс. км<sup>2</sup> и численностью населения около 1,5 млн чел. Он является областью локализации многих нефтяных месторождений, из которых Ромашкинское и Ново-Елховское месторождения являются уникальными. Более чем 50-летняя разработка нефтяных объектов привела к масштабному загрязнению всех абиотических компонентов экосистем нефтью и попутными нефтяными водами, что обусловило практически катастрофическое положение с качественным питьевым водоснабжением большей части расположенных здесь населенных пунктов [3]. При проведении региональных работ по оценке прогнозных эксплуатационных ресурсов пресных подземных вод (ПВ) Татарстана в конце 1990-х – начале 2000-х гг. часть площади Восточно-Закамского региона была выведена из рассмотрения в связи с резко выраженными вариациями состава ПВ, обусловленными процессами нефтяного загрязнения.

*Таблица*

*Основные фактические и расчетные данные по нижеказанскому водоносному комплексу Восточно-Закамского региона Татарстана*

Часть региона	Количество водосб. бассейнов	Площадь, км <sup>2</sup>	Минерализация ПВ в зонах разгрузки, г/л	Расход, тыс. м <sup>3</sup> /сут	Модули подземного стока, л/с·км <sup>2</sup>	Кол-во в-ва, выносимого фильтрац. потоками, т/сут	Модули подз. массопотоков химических элементов, г/с·км <sup>2</sup>
Регион в целом	71	17421,4	0,4-2,6	2141,0	<u>0,13-5,95</u> 1,42	1292,25	<u>0,09-2,71</u> 0,91
Районы крупн. нефт. местор.	34	6261,6	<u>0,4-1,73</u> 0,8-1,0	582,4	<u>0,13-5,75</u> 1,08	463,13	<u>0,09-2,57</u> 0,89
Районы незагипсов. разрезов вне нефт. местор.	28	8914	<u>0,4-0,82</u> 0,4-0,6	1408,7	<u>0,39-5,95</u> 1,83	654,3	<u>0,16-2,71</u> 0,95
Районы загипсов. разрезов вне нефт. местор.	9	2246,1	<u>0,4-2,6</u> 0,8-1,2	149,9	<u>0,33-1,05</u> 0,77	174,82	<u>0,18-1,66</u> 0,82

Примечание. В графах 4, 6, 8 в числителе – пределы колебаний, в знаменателе – преобладающие (графа 4) или средневзвешенные (графы 6, 8) значения; величины расходов и модулей являются минимальными, т.к. не учитывался родниковый сток.

Зона пресных ПВ региона охватывает комплекс средне- верхнепермских сульфатно-карбонатно-терригенных отложений, сформированных в широком диапазоне фациальных условий, от верхнешельфовых до континентальных, и плиоцен-четвертичных терригенных образований, которые повышенными мощностями обладают в палео- и современных речных долинах [1]. В этой зоне мощностью до 150–200 м выделяется ряд гидрогеологических подразделений, связанных водообменом по схеме А.Н. Мятлева, из которых наиболее продуктивным является нижеказанский водоносный комплекс. Его мощность варьирует в пределах 40–80 м, при значениях её эффективной части – 5–40 м. Комплекс подстилается 2–40 м пачкой («лингуловые глины»). Ниже этого регионально выдержанного водоупорного горизонта, залегающего в основании казанского яруса, распространены преимущественно солончатые подземные воды. Нижеказанский водоносный комплекс на участках приповерхностного залегания (нижние части склонов речных долин), обладает грунтовым характером; на большей же площади своего распространения он является напорным. Величина избыточного напора может достигать 60–100 м. Основной объем питания комплекс получает за счет инфильтрации атмосферных осадков и перетекания из перекрывающих образований (в связи с отсутствием надежного водоупорного перекрытия), а его разгрузка осуществляется многочисленными источниками, фильтрацией в палео- и современные речные долины, а также затрудненным нисходящим перетеканием через «лингуловые глины» в подстилающие отложения. Водообильность комплекса средняя: расходы родников в основном составляют 0,5–5 л/с, удельные дебиты скважин – 0,3–2 л/с·м. Состав вод комплекса, на участках преобладания природных факторов его формирования, с одной стороны – гидрокарбонатный с минерализацией до 0,6 г/дм<sup>3</sup> и общей жесткостью до 8 ммоль/дм<sup>3</sup>; с другой – гидрокарбонатно-сульфатный и сульфатный при минерализации до 2, реже более, г/дм<sup>3</sup> и общей жесткости до 15–20 ммоль/дм<sup>3</sup>. Развитие сульфатных ПВ связано с загипсованностью нижеказанского разреза в виде отдельных включений, реже 0,1–1,5 м прослоев гипсов; при этом загипсованность проявлена в восточной и юго-восточной части региона. На площадях крупных нефтяных месторождений рассматриваемые ПВ характеризуются разнообразным составом при доле хлоридов обычно не менее 20 % моль, преобладающей минерализации – 0,8–2 г/дм<sup>3</sup>

и жесткости – более 10 ммоль/дм<sup>3</sup>. Нижнеказанский водоносный комплекс разведен на нескольких месторождениях питьевых ПВ, утвержденные эксплуатационные запасы которых составляют около 150 тыс. м<sup>3</sup>/сут. [3].

Общий ресурсный потенциал нижнеказанского водоносного комплекса можно определить на основе ранее выполненных исследований, касающихся особенностей его строения, характера фильтрационной анизотропии водонасыщенных пород, поведения гидрогеохимического поля. По данным о положении пьезометрической поверхности и площадной изменчивости параметра водопроницаемости [5, 6 и др.] легко рассчитываются объемы разгрузки (расходы) комплекса в палео- и современные долины, которые будут представлять его естественные ресурсы. Для их выявления вся территория Восточно-Закамского региона автором была подразделена на 71 водосборный бассейн – структуры, представляющие собой изолированные в балансовом отношении гидрогеодинамические системы. Границами этих систем являлись линии поверхностных водоразделов, которые в подавляющем большинстве случаев являются и водоразделами ПВ нижнеказанских отложений, и речные долины – зоны основной разгрузки. Бассейновый подход позволяет не только локализовать расход ПВ и судить о его площадной изменчивости, но он, также, приводит к достоверному определению вариаций модулей подземного стока. По имеющейся же гидрогеохимической информации [5 и др.] автором на основе расчетных схем, приведенных в [2, 4 и др.], выявлены: общее количество вещества, выносимого фильтрационными потоками нижнеказанского комплекса, и модули подземных массопотоков химических элементов (табл.).

Проведенные исследования позволяют:

- рационально планировать проведение крупномасштабных поисково-разведочных работ на питьевые ПВ в Восточно-Закамском регионе Татарстана;
- приближенно судить об эксплуатационных ресурсах ПВ питьевого качества;
- детализировать структуру водного баланса региона, рассчитанный средний модуль подземного стока для нижнеказанского комплекса соответствует слою стока 44,7 мм/год, что от среднегодового количества атмосферных осадков в 500 мм/год составляет 8,9 %;
- дополнительно подчеркнуть масштабность геологической деятельности ПВ; так при ежесуточном выносе растворенного в ПВ вещества массой 1292,25 т (питание нижнеказанского комплекса, как отмечалось, – за счет инфильтрации атмосферных осадков, имеющих минерализацию, преимущественно, 10–20 мг/л, и нисходящего перетекания из перекрывающих отложений, пополнение запасов которых – также за счет атмосферных осадков), площади развития рассматриваемого водоносного комплекса – 17421,4·10<sup>6</sup> м<sup>2</sup>, плотности выщелачиваемых пород – 2,5 г/см<sup>3</sup>, для снижения земной поверхности на 10 м, при условии проявления лишь деятельности ПВ, потребуются всего 0,923 млн лет.

#### Литература

1. Геология Татарстана: Стратиграфия и тектоника / Под ред. Б.В. Булова. – М.: ГЕОС, 2003. – 402 с.
2. Гольдберг В. М. Взаимосвязь загрязнения подземных вод и природной среды. – Л.: Гидрометеоздат, 1987. – 248 с.
3. Государственный доклад о состоянии природных ресурсов и об охране окружающей среды Республики Татарстан в 2005 г. / Под. ред. Н. П. Торсуев. – Казань, 2006. – 494 с.
4. Зверев В. П. Массопотоки подземной гидросферы. – М.: Наука, 1999. – 97 с.
5. Мусин Р. Х. Гидрогеохимическая и фильтрационная неоднородность зоны активного водообмена в нефтяных районах Татарстана / Р. Х. Мусин, Н. А. Марченков, И. С. Нуриев // Проблемы гидрогеологии XXI века: Наука и образование. – М.: Изд-во РУДН, 2003. – С. 466-469.
6. Мусин Р. Х. Характер и факторы фильтрационной анизотропии верхней части разреза востока Русской плиты / Р.Х. Мусин, Р.З. Мусина // Изменяющаяся геологическая среда: пространственно-временные взаимодействия эндогенных и экзогенных процессов: Материалы междунар. конф. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2007. – Т. 1, – С. 43-47.

### ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ПЛОЩАДКИ СТРОИТЕЛЬСТВА АДМИНИСТРАТИВНОГО ЗДАНИЯ И ПРОВЕРКА ПРОЧНОСТИ ГРУНТОВ ЕГО ОСНОВАНИЯ В.В. Иваненко

Научный руководитель доцент П.П. Ипатов  
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

В городе Томске с 31 марта 2005 г. по 8 июля 2005 г. ООО НПФ «Геостройпроект» были проведены инженерно-геологические изыскания площадки под строительство двухэтажного здания кафе на пр. Ленина, 44.

Изученная площадка проектируемого строительства административного здания расположена на II надпойменной террасе р. Томи [2].

Рельеф участка относительно ровный, абсолютные отметки поверхности земли изменяются от 93,10 до 93,60 м. Высота склона в среднем равна 9,1 м, а угол наклона 30–32°.

В геологическом строении изученной площадки до глубины 15,0 м принимают участие аллювиальные отложения второй надпойменной террасы р. Томи, перекрытые с поверхности современным почвенно - растительным слоем до глубины 0,6 м. Далее идет насыпной грунт, средняя мощность которого 0,5 м.

Ниже залегает песок пылеватый бурый маловлажный, мощность слоя изменяется от 1,9 до 3,0 м. Третий слой представлен мелким бурым маловлажным песком, средняя мощность которого 1,55 м. В интервале глубин 7,1–9,6 м прослеживается песок пылеватый бурый влажный, средняя мощность слоя 1,55 м. С глубины 8,5 м. залегают пески пылеватые бурого и серовато-бурого цвета, водонасыщенные, которые содержат тонкие прослои суглинка мощностью от 0,05 до 0,2 м [4].

Для расчетов прочности грунтов основания данного сооружения допускается применение нормативных значений характеристик грунтов.

Для оценки прочности грунтовых оснований используется техническая характеристика здания (табл.).

Горная порода и возведенное на ней сооружение представляют сложную систему, надежность работы которой зависит от ряда факторов. При этом под надежностью системы «сооружение-основание (горные породы)» обычно понимается ее способность нормального функционирования в течение эксплуатационного периода при заданном технологическом режиме сооружения. Система «сооружение-основание» может быть представлена в виде трех последовательно соединяемых элементов: основания (горные породы), фундамента и наземной конструкции.

Таблица

Техническая характеристика здания

Вид и назначение здания	Габариты (длина, ширина), м	Тип фундамента	Этажность	Нагрузка на фундамент, кПа	Глубина погружения свай, м
Административное здание (кафе)	70×15	свайный	2	125	5

Наиболее скрытые и неуправляемые изменения в процессе строительства и эксплуатации сооружения происходят с породами основания. При оценке устойчивости сооружений особенно важное значение приобретают те процессы, которые вызывают ухудшение свойств пород основания, приводящие к снижению их прочности и повышению деформационной способности, что в конечном итоге вызывает рост абсолютной и относительной деформации, вплоть до разрушения пород основания.

В зависимости от формы грунтового массива, условий его залегания и величины приложенной нагрузки деформации могут проявляться в смещении больших масс грунта, например, в обрушении и оползании горных склонов и откосов насыпей и выемок, и в виде местных деформаций непосредственно под действующей нагрузкой, захватывающих ограниченный объем грунта (осадки сооружений).

Деформации грунта связаны с изменением взаимного расположения слагающих его грунтовых частиц и состоящих из них структурных агрегатов.

Основная особенность грунтов заключается в том, что они не являются сплошными телами, а имеют поры, которые частично или полностью заполнены водой. Сначала при действии внешней нагрузки происходит только уплотнение грунтов за счет уменьшения объема пор. Степень сжатия будет зависеть от величины нагрузки и пористости грунта. При этом, если поры грунта заполнены водой, процесс уплотнения под действием сжимающих давлений может произойти только при условии выдавливания воды из пор грунта. Поэтому скорость процесса уплотнения будет зависеть от скорости вытеснения воды из пор, т.е. от скорости фильтрации воды в грунте.

Рассмотренные выше явления можно выразить графиком, на котором показана зависимость осадки фундамента от нагрузки.

На первом участке осадка происходит только за счет уплотнения грунта, т.е. изменения объема пор грунта, и носит линейный характер. С течением времени увеличение осадки прекращается, т.е. она затухает, и ее величина остается постоянной во времени. Участку прямолинейной зависимости соответствует стадия или фаза уплотнения грунта (I).

На втором участке графика, где нагрузка больше, возникает сдвиг частиц относительно друг друга, зависимость между осадкой и нагрузкой носит криволинейный характер. С течением времени осадка равномерно нарастает. Эта стадия сопротивления грунта называется фазой сдвигов (II). В начальный ее период несущая способность грунта еще не исчерпана, но в конце сдвиг грунта получает все большее развитие и вызывает нарастание мгновенно и неограниченно, далее идет стадия разрушения (III).

Нагрузки, передаваемые на грунт, должны соответствовать по своим значениям стадии уплотнения и вызывать только затухающие осадки. Поэтому нагрузки на фундаменты не должны превосходить предела пропорциональности между осадкой и нагрузкой.

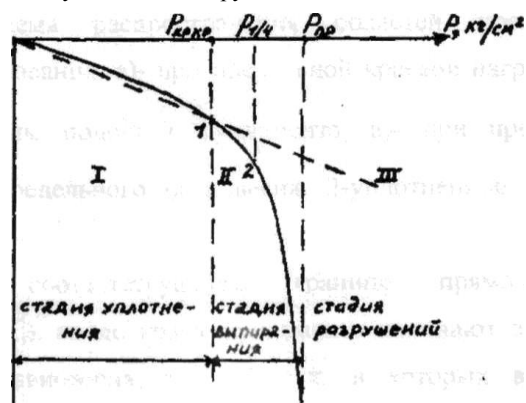


Рис. Зависимость осадки фундамента от нагрузки

Это позволяет рассматривать грунты как линейно - деформируемые тела, т.е. с достаточной для практических целей точностью принимать зависимость между деформациями и напряжениями. На этом допущении о линейной деформируемости грунтов основываются расчеты напряжений и деформаций грунтовых оснований.

Для предварительной оценки несущей способности грунтовых оснований фундаментов используются нормативные значения грунтов. Несущая способность грунта зависит от физико-механических свойств грунтов. Поэтому значения нормативных сопротивлений грунтов, приведенные в таблицах СНиП 2.02.01-83, даются в зависимости от названия грунта, его нормативных значений плотности, коэффициента пористости, влажности для песчаных и показателя текучести для глинистых грунтов.

Для окончательного назначения размеров фундаментов расчетное сопротивление грунта основания  $R$  определяется по формуле:

$$R = ((\gamma c1 \times \gamma c2)/k) \times [\mu \times kz \times b\gamma'' + \mu q \times d \times \gamma' II + (\mu - 1) \times db \times \gamma' II + \mu c \times cl ]$$

Согласно п. 2.41 СНиП 2.02.01-83 среднее давление под подошвой фундамента  $R_f$  не должно превышать расчетного сопротивления грунта  $R$ .

В результате проведенных расчетов было установлено, что  $R = 147,5$  кПа больше чем  $R_f = 125$  кПа; значит, грунты основания фундамента выдержат нагрузку, передаваемую от сооружения.

В ходе проделанной работы автором были рассмотрены географические, геологические, инженерно-геологические условия заданной строительной площадки, изучены состав, условия залегания и физико-механические свойства грунтов.

#### Литература

1. Веселов В.А. Расчет фундаментов и оснований. – М.: Стройиздат, 1970. –176 с.
2. Рождественская Л.А., Крепша Н.В., Покровский Д.С. Инженерно - геологические условия территории г. Томска и их изменения в связи с хозяйственным освоением. – Томск: 1981. –286 с.
3. СНиП 2.02.01.-83. Основания зданий и сооружений. – М.: Госстрой СССР, 1983. –125 с.
4. Отчет ООО НПФ «Геостройпроект», – Томск, 2006.

### ИЗМЕНЕНИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В БАССЕЙНЕ Р. ВАХ

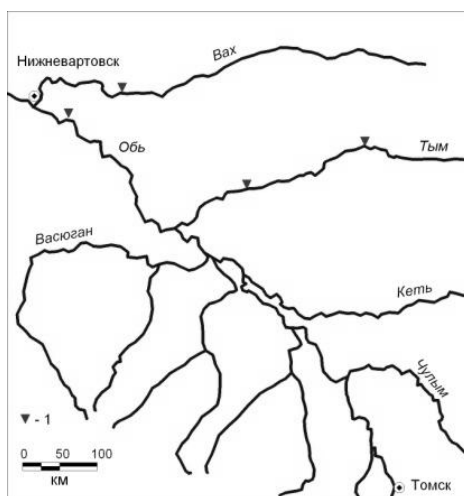
**О.А. Камнева**

Научный руководитель профессор О.Г. Савичев  
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

В последние десятилетия наблюдаются заметные изменения климата Западной Сибири [1]. Очевидно, что они должны отразиться на водном балансе речных бассейнов и условиях ведения хозяйственной деятельности, а, следовательно, стать важным объектом геоэкологических и гидрологических исследований. В данной работе, продолжающий цикл исследований гидроклиматических условий Сибири [7], эта проблема рассмотрена на примере р. Вах – крупного правого притока р. Обь (рис.). Выбор объекта исследований обусловлен как его типичностью для зоны средней тайги, с одной стороны, так и необходимостью детального изучения водно-экологической ситуации на территориях интенсивного развития нефтегазодобывающего комплекса, с другой.

Река Вах берет начало на Вах-Кетской возвышенности, течет с востока на запад, выходит на Сургутскую низину и впадает в р. Обь справа на 1730 км от устья в 14 км выше г. Нижневартовска. Общая длина реки 964 км. Бассейн р. Вах имеет вытянутую форму с северо-востока на юго-запад. Абсолютные отметки поверхности составляют 40–56 м. Рассматриваемая территория представляет собой сильно заболоченную равнину. Болота – преимущественно верховые, занимают 24 % водосбора. Согласно [8], рассматриваемый водоток расположен на границе Иртышско-Енисейского и Пурского гидрологических районов и характеризуется наличием весенне-летнего половодья, летних и осенних паводков, продолжительной межени и устойчивого ледостава.

Исходной информацией для проведения исследований послужили: 1) материалы наблюдений Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (далее – Росгидромет) за температурой приземных слоев воздуха на метеостанциях в сс. Александровское, Напас, Ларьяк с 1937 по 2007 г.; 2) материалы наблюдений Росгидромета за атмосферными осадками на метеостанции в с. Александровское с 1937 по 2007 г.; 3) материалы наблюдений Росгидромета за расходами воды р. Вах у с. Лобчинское с 1953 по 1984 г. и с 1994 по 1996 г.; 4) материалы наблюдений Росгидромета за расходами воды р. Тым у с. Напас с 1937 по 2007 г.



**Рис. Схема расположения водосбора р. Вах и постов гидрологических и метеорологических наблюдений (1)**

Методика исследований включала: 1) приведение гидрологического ряда расходов воды р. Вах у с. Лобчинское к многолетнему периоду с привлечением данных наблюдений пунктов-аналогов; 2) построение уравнения месячного

водного баланса водосбора р. Вах в створе с. Лобчинское за период с 1937 по 2007 г.; 3) статистический анализ многолетних изменений его элементов.

Режимные наблюдения на р. Вах в створе с. Лобчинское после 1984 г. не ведутся, что существенно ограничивает эффективность исследований изменений гидроклиматических условий региона. В связи с этим было выполнено приведение гидрологических рядов р. Вах к многолетнему периоду путем построения и анализа регрессионных зависимостей между стоком р. Вах в створе с. Лобчинское и р. Тым в створе с. Напас.

В рамках решения второй задачи выполнено построение месячного водного баланса по восстановленному ряду среднемесячных расходов воды и данным метеорологических наблюдений на станции в с. Александровское. Расчет элементов водного баланса проводился согласно [2, 3, 4, 6].

Величина подземного стока определялась при помощи расчленения речных гидрографов линейной интерполяцией в соответствии с [8].

Анализ многолетних изменений элементов водного баланса р. Вах включал в себя проверку нулевых гипотез о случайности и однородности рядов наблюдений. Проверка на случайность проводилась с помощью критерия Питмена  $Pk$ , на однородность – с помощью критериев Фишера  $Fk$  и Стьюдента  $Sk$  [6, 7]. Вывод о неслучайном изменении или нарушении однородности рядов соответствовал условию, когда расчетная статистика ( $Pk$ ,  $Sk$ ,  $Fk$ ) по модулю превышала соответствующее критическое значение ( $Pk_{\alpha}$ ,  $Sk_{\alpha}$ ,  $Fk_{\alpha}$ ) при уровне значимости  $\alpha = 5\%$ .

Анализ данных метеонаблюдений в сс. Александровское, Напас и Ларьяк подтвердил выводы о росте температуры приземных слоев атмосферного воздуха в районе исследований [1]. В с. Александровское отмечено нарушение однородности рядов среднесентябрьской температуры и годовых сумм положительных температур воздуха, связанное с уменьшением в 1970–2007 г. (по сравнению с предыдущим периодом) первого показателя и увеличением второго. Кроме того, выявлен положительный линейный тренд в многолетнем изменении среднемартовской и среднегодовой температуры за 1937–2007 гг. и суммы положительных температур за 1970–2007 гг.

Близкие тенденции в изменении температурного режима выявлены по данным метеостанций Ларьяк и Напас, а именно: 1) линейный тренд среднегодовой и среднемартовской температуры воздуха у с. Напас; 2) увеличение суммы положительных температур у с. Ларьяк. Кроме того, выявлено увеличение среднеиюньской температуры воздуха у с. Ларьяк, связанное с нарушением однородности рядов по среднему и увеличению у с. Напас суммы отрицательных и положительных температур выше  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Таким образом, выявленные изменения свидетельствуют о постепенном увеличении в исследуемом районе среднегодовых температур воздуха и смещении границ гидрологических сезонов, заключающемся в более раннем начале снеготаяния и «растягивании» летне-осеннего периода с одновременным увеличением суммы положительных температур и их перераспределением по месяцам теплого периода. Особое внимание следует обратить на проявляющиеся тенденции к увеличению суммы температур более  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , указывающие на улучшение условий произрастания низко- и среднетребовательной к теплу растительности. В условиях избыточного увлажнения и высокой заболоченности региона это может привести к усилению торфообразования и дополнительной активизации болотного процесса.

Данные выводы в целом согласуются с результатами анализа многолетних изменений месячных и годовых сумм атмосферных осадков у с. Александровское и общего увлажнения водосбора р. Вах. Так, отмечены положительный линейный тренд в выпадении атмосферных осадков в зимние месяцы и уменьшения в июле. В изменении общего увлажнения, складывающегося из атмосферных осадков в текущем месяце и водоотдачи из снегового покрова, отмечен отрицательный тренд только в июле. В зимние и весенние месяцы определенное увеличение осадков, предположительно, пока компенсируется увеличением периода снеготаяния и, соответственно, более равномерным поступлением вод в речную сеть. Тем не менее, суммарный сток р. Вах в зимние месяцы постепенно увеличивается, а потери стока – уменьшаются, что объясняется интегральным эффектом постепенного расширения преддизья. В результате речной сток в начале зимнего периода в последние 3–4 десятилетия возрос, а кривая спада зимних расходов воды сместилась выше. Также отмечено нарушение рядов среднемесячных значений слоя стока р. Вах в июле и августе по дисперсии. Учитывая наличие отрицательных трендов внутри периодов 1937–1969 и 1970–2007 гг. это, вероятно, связано с разнонаправленными тенденциями в изменении элементов водного баланса в летний период, в частности, с уменьшением стока в июне и общего увлажнения в июле, увеличении испарения, нелинейно связанного с общим увлажнением и суммой положительных температур.

Наиболее заметные изменения в водном балансе выявлены в случае подземной составляющей стока р. Вах, что подтверждает сделанный ранее вывод об увеличении подземного стока и уровней грунтовых вод на заболоченных территориях Томской области [8, 9, 10]. Они связаны как наличием линейного тренда среднемесячных и среднегодовых значений, так и нарушением однородности рядов по среднему. Подземный сток составляет 120,9 мм или 40 % от суммарного. Изменение слоя подземного стока произошло на 21 мм или 19 % по сравнению с 1937–1969 гг.

В целом, норма годового стока и общего увлажнения бассейна р. Вах за период с 1937 по 2007 г. остается постоянной (301,9 и 694,4 мм соответственно), норма годовых потерь также остается постоянной (399,9 мм), подземная составляющая речного стока возрастает (на 21 мм или 19 % по сравнению с 1937–1969 гг.). С учетом этого можно предположить, что на рассматриваемой территории происходит определенная аккумуляция влаги в торфяных болотах, что, наряду с улучшением условий произрастания болотной растительности, является мощным фактором усиления болотообразования.

#### Литература

1. Региональный мониторинг атмосферы. Природно-климатические изменения / Под ред. чл.-корр. РАН М.В. Кабанова. – Томск: МГП «РАСКО», 2000. – Ч. 4. – 269 с.
2. Бифани Н.Ф., Калинин Г.П. Упражнения и методические разработки по гидрологическим прогнозам. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 390 с.

3. Виссмен У., Харбаф Т.И., Кнэпп Д.У. Введение в гидрологию. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 470 с.
4. Гельфан А.Н. Динамико-стохастическое моделирование формирования талого стока. – М.: Наука, 2007. – 279 с.
5. Кузин П.С., Бабкин В.И. Географические закономерности гидрологического режима рек. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 200 с.
6. Попов Е.Г. Вопросы теории и практики прогнозов речного стока. – Л.: Гидрометеиздат, 1963. – 395 с.
7. Рождественский А.В., Чеботарев А.И. Статистические методы в гидрологии. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 424 с.
8. Савичев О.Г. Реки Томской области: состояние, использование и охрана. – Томск: Изд-во Том. политехн. ун-та, 2003 – 202 с.
9. Савичев О.Г., Макушин Ю.В. Многолетние изменения уровней подземных вод верхней гидродинамической зоны на территории Томской области // Известия Томского политехнического университета – Томск: Изд-во ТПУ, 2004. – Т. 307. – № 4. – С. 60-63.
10. Савичев О.Г., Харанжевская Ю.А. Многолетние изменения гидроклиматических условий в бассейне реки Чая (Западная Сибирь) // Известия Томского политехнического университета. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – Т. 313. – № 1. – С. 82-87.
11. СП 33-101-2003 – Определение основных расчетных гидрологических характеристик.
12. Христофоров А.В. Надежность расчетов речного стока. – М.: Изд-во МГУ, 1993. – 168 с.

## СТРОИТЕЛЬСТВО НЕФТЕГАЗОПРОВОДОВ НА УЧАСТКАХ РАСПРОСТРАНЕНИЯ МНОГОЛЕТНЕЙ МЕРЗЛОТЫ

**Е.А. Капелюшник**

Научный руководитель доцент В.В. Гусев

*Самарский государственный технический университет, г. Самара, Россия*

В районах распространения многолетней мерзлоты на территории РФ сосредоточено более 80 % разведанных запасов нефти, около 70 % – природного газа, огромные залежи каменного угля и торфа. Для устойчивости в этих районах сооружений наибольшую опасность представляет её таяние. Многие из них построены на свайных фундаментах, используют многолетнемёрзлый грунт в качестве оснований и рассчитаны на эксплуатацию в определённых температурных условиях. Исследования показали, что при оттаивании мёрзлых грунтов изменяются их физико-механические свойства, что, в конечном счёте, уменьшают несущую способность фундаментов, приводя к повреждению построенных на них сооружений.

Не менее серьёзную угрозу представляет оттаивание льдонасыщенных грунтов и пластов погребенного льда, мощность которых может достигать нескольких метров. Таяние содержащегося в грунте льда сопровождается просадками земной поверхности и развитием опасных мерзлотных процессов: термокарста, термоэрозии и др. В результате происходят значительные изменения рельефа, которые ухудшают напряжённо-деформированное состояние трубопроводов и других сооружений, расположенных в данной местности.

В начале 21 века Россия фактически приступила к масштабному строительству магистральных нефтепроводов (МН) на юге Центральной и Восточной Сибири. Отправной точкой можно считать строительство нефтепровода Восточная Сибирь – Тихий океан (ВСТО), которое начато в марте 2006 г. Районы строительства нефтепроводов, в том числе МН ВСТО, находятся в южной зоне расположения многолетнемёрзлых грунтов (ММГ), простирающихся до границ с Монголией и Китаем. Данный регион является также сейсмически опасным: возможны землетрясения силой до 9 баллов. Проектирование и строительство нефтепроводов в таких условиях является довольно сложной проблемой.

При строительстве на многолетнемёрзлых грунтах учитываются конструктивные и технологические особенности сооружения.

Проблема проектирования и строительства магистральных трубопроводов на ММГ очень многогранная. Выделим ключевые моменты основных способов прокладки нефтепровода на ММГ.

**Подземный способ.** В общем случае методология проектирования линейной части подземного нефтепровода на ММГ заключается в следующем.

Подземная прокладка без теплоизоляции или на втором этапе расчётов с теплоизоляцией трубы принимается при положительных результатах последовательных расчётов глубины оттаивания ММГ под трубой, вертикальных перемещений МН как бесконечно длинной балки на оттаивающем основании и расчётов МН по предельным состояниям на деформируемом основании. Подобные обязательные расчёты при проектировании являются техническим обоснованием подземного способа прокладки МН на многолетнемёрзлых грунтах.

Если расчёты по п. 1 не удовлетворяют критериям, то в первую очередь следует предусмотреть меры инженерной подготовки основания МН в зависимости от конкретных условий участка трассы. Одним из самых эффективных и недорогих способов является, например, замена под трубой в траншее сильнольдистого грунта или прослоев подземного льда в пределах активной зоны взаимодействия трубы и основания (не более 4 – 5 м) на любые талье скальные, полускальные, крупнообломочные, песчаные и глинистые грунты. Применение этого способа для нефтепровода наиболее очевидно также по причине малого давления трубы на основание.

При чрезвычайно сложных инженерно-геокриологических условиях в основании МН, например при наличии погребенных льдов значительной мощности по глубине и простиранию, можно предусмотреть другой способ прокладки МН, исключающий тепловое влияние трубы на основание. Однако столь сложные грунтовые условия по трассе МН ВСТО при инженерных изысканиях выявлены в единичных случаях.

В целом можно заключить, что несмотря на применение теплоизоляционных материалов или теплоизоляции трубы, температура мёрзлого грунта вокруг трубы повышается и постепенно он переходит в талое состояние.

**Надземный способ.** Надземная прокладка МН на многолетнемёрзлых грунтах вполне возможна и допустима при соответствующем технико-экономическом обосновании. При этом ведущая роль принадлежит первой его составляющей, поскольку вторая не вызывает сомнений: надземной прокладке соответствуют самые высокие стоимость, продолжительность и трудоёмкость работ на трассе.

Тем не менее на большие затраты можно и нужно пойти, если надземный способ твёрдо гарантирует надёжную эксплуатацию МН за требуемый период. Главными недостатками являются сложная компенсирующая способность надземной системы и неравномерные вертикальные перемещения опор, которые следует устанавливать через 20–25 м. Чем чаще опоры, тем сильнее влияние неравномерных перемещений, вызванных неоднородным сложением грунтов, что тем более характерно для протяжённого линейного сооружения; повышенным растеплением грунтов вокруг металлических свай в летний период и их регулярным пучением зимой при промерзании сезонно талого слоя; пучением и поднятием опор за счёт образования вокруг свай наледей; перемещением опор при морозобойном растрескивании грунтов и др.

Для исключения неравномерных вертикальных перемещений надземного нефтепровода используют регулируемый по высоте ригель опоры. Это достаточно практичный способ, если диапазон изменения ригеля по высоте перекрывает диапазон возможных перемещений свайного фундамента опоры. Возможно использование в опоре свай с противопучинными элементами. Однако и в этом случае требуется предварительный расчёт при проектировании.

Накопленный десятилетиями опыт строительства и эксплуатации различных зданий и сооружений на ММГ в условиях Воркуты, Норильска, Игарки, Дудинки, Тикси и особенно северных газопроводов тех же трасс с Ямбургского месторождения на севере Западной Сибири и в других районах доказывает, что надёжность и долговечность сооружений тем выше, чем меньше нарушено природное мерзлотно-грунтовое состояние основания сооружения. Исходя из указанного необходимо максимально сохранить естественное природное состояние ММГ при строительстве. Для этого не надо отрывать траншеи, котлованы, бурить скважины и погружать в них сваи, а планировку площадок и трасс проводить в минимальном объёме и преимущественно подсыпками, необходимо также исключить всякое техногенное нарушение природного состояния ММГ. По принципу наименьшего вторжения в грунтовый массив, в частности, запроектирована и построена на переходах через ММГ Байкало-Амурская магистраль (БАМ). В соответствии с данным положением в нашем случае магистральные нефтепроводы на участках ММГ целесообразно прокладывать **надземно на насыпи**. Отсыпанная поверх мохорастительного слоя и ненарушающая его насыпь в целом не ухудшает природное мерзлотно-грунтовое состояние основания, а при определённых условиях может улучшить его за счёт поднятия верхней границы ММГ ближе к поверхности, к телу насыпи.

Насыпь под МН необходимо выполнять методом «от себя», что не нарушает мохорастительный покров, и сплошной лентой, поскольку на этой же насыпи следует построить вдольтрассовую дорогу. Насыпь отсыпается из скального, полускального, крупно-обломочного или гравийно-песчаного грунта, которых в данном регионе достаточно. Подобным образом газовики выполняют, например, подсыпки под дороги и площадки в районах Южного Ямала, отбирая скальный и полускальный грунт в отрогах Полярного Урала. Аналогично выполнены насыпи под БАМ. Высоту насыпи следует принимать минимальной и в зависимости от необходимых проектных отметок МН, которые определяются рельефом местности. По этому принципу проектируют насыпи под авто- и железные дороги. Защита насыпи от водной и ветровой эрозии осуществляется обычным способом, как и насыпи железной дороги. Пересечения с авто- и железными дорогами выполняются обычным способом надземно или подземно, пересечения с крупными ввозными преградами – подземно. Мелкие речки и ручьи следует пропускать через тело насыпи водопропускными сооружениями по аналогии с водопропускными сооружениями под насыпью железной дороги БАМ.

Наземные участки уже построены и нормально эксплуатируются на магистральном газопроводе Мессояха – Норильск диаметром 720 мм за Полярным кругом, т.е. намного севернее нефтепровода ВСТО.

Для периода в 24 года установлено, что частота отказов на 1 км трассы этого газопровода при подземной прокладке составила 3, надземной – 1,22, наземной – 0,13. Эти данные позволяют сделать выводы о преимуществах того или иного способа прокладки.

Наземная прокладка нефтепровода на участках ММГ по насыпи имеет следующие преимущества.

Под МН не требуется свайных или плитных фундаментов и металлических опор. Труба с теплоизоляцией или без неё в оцинкованном кожухе укладывается на поверхность насыпи. При насыпи из скальных грунтов трубу при необходимости можно уложить на лежки из толстых досок, бруса, брёвен или поверх крупнообломочных грунтов отсыпать под трубу тонкий слой из любого песчано-глинистого грунта.

Для нефтепровода не нужны термостабилизаторы, поскольку ни охлаждать, ни замораживать основание под подошвой насыпи не требуется.

Полностью исключается балластировка МН пригрузами и утяжелителями на переходах через обводнённые и заболоченные участки.

Напряжённо-деформированное состояние нефтепровода на насыпи можно определить наиболее точно. В конечном счёте уровень надёжности нефтепровода как строительной конструкции определяется степенью достоверности расчётов деформаций и напряжений в трубе от эксплуатационных нагрузок и воздействий.

Нефтепровод на насыпи является самым надёжным при сейсмических воздействиях. Это очень важное преимущество при строительстве в районах возможных землетрясений. Труба не испытывает существенных дополнительных усилий от сейсмических воздействий, поскольку не имеет с природным грунтовым массивом жёстких связей.

Нефтепровод на насыпи можно строить круглогодично, независимо от распутицы и природных условий.

Нефтепровод на насыпи и его арматуру легче всего эксплуатировать, ремонтировать и наблюдать с вертолётной платформы облёта трассы, что важно для линейно-эксплуатационной службы.

Общая стоимость и продолжительность строительства нефтепровода на насыпи в несколько раз меньше, чем надземного или подземного на опорах.

В целом прокладка МН по насыпи соответствует укладке по насыпи железнодорожных рельс. При этом все пересечения с естественными и искусственными преградами можно выполнить по аналогии с БАМ, но с учётом отмеченных специфики и особенностей МН.

**Выводы.**

В Южной части Центральной и Восточной Сибири инженерно-геокриологические условия для строительства трубопроводов более благоприятные, чем на севере за Полярным кругом.

Нефтепроводы на территории многолетнемёрзлых грунтов юга Центральной и Восточной Сибири необходимо прокладывать подземно и наземно на насыпи. Выбор прокладки определяется технико-экономическим сравнением этих вариантов в зависимости от инженерно-геокриологических условий конкретного участка. На слабодистых и льдистых грунтах МН можно проложить подземно, на сильнольдистых и при наличии погребенных льдов – наземно на насыпи.

Использовать надземную и подземную прокладку нефтепровода на свайных и плитных опорах с применением термостабилизаторов нет необходимости. Отсутствие надземной прокладки со сваями, опорами и термостабилизаторами ускорит, снизит стоимость и облегчит строительство линейной части нефтепроводов.

**ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ РАЙОНА И ПРОГНОЗ ИХ ИЗМЕНЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ СООРУЖЕНИЯ****А.И. Касьяненко**

Научный руководитель доцент П.П. Ипатов  
*Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

Территория для обоснования застройки квартала расположена на западной окраине г. Томска, на правом берегу р. Томи, в границах улиц: Тимакова–Московский тракт–Учебная–Карпова.

В геоморфологическом отношении территория застройки расположена на I надпойменной террасе р. Томи. Территория проектируемой застройки относительно ровная. Абсолютные отметки поверхности земли изменяются от 107,7 м до 112,35 м, понижаясь в западном и юго-западном направлении в сторону долины р. Томи. Поверхностный сток ориентирован с северо-востока на юго-запад. Западная и юго-западная часть застраиваемой территории заканчивается четко выраженным уступом, имеющим в прирвовочной части склона абсолютные отметки 105–112 м и в подошвенной части склона – 89–90 м. Крутизна склона за пределами площадки изменяется от 35 до 42°.

В геологическом строении исследованной территории до глубины 23–33 м принимают участие четвертичные озерно-аллювиальные отложения окраинной части эрозионного склона Томь-Яйского междуречья и палеоген-неогеновые отложения аллювиальных равнин, подстилающиеся корой выветривания палеозойского фундамента. Подошва склона за пределами данной площадки стыкуется с тыловой частью высокой поймы р. Томи, сложенной до глубины 8,9 м перетолженными аллювиально-делювиальными глинами полутвердыми и тугопластичными слабозаторфованными, также подстилающимися корой выветривания палеозойского фундамента. Изученная грунтовая толща с поверхности перекрыта современными насыпными грунтами.

Пространственная модель грунтового основания «здание – геологическая среда» в пределах исследованной территории строительства до изученной глубины 11,0–33,0 м составлена по результатам анализа условий залегания, состава и состояния литологических разновидностей грунтов и статистической обработки частных значений показателей свойств грунтов, а также посредством качественной оценки всех других ее составляющих, представлена (сверху вниз) в виде 10-ти инженерно-геологических элементов (ИГЭ):

- 1) насыпной грунт – суглинок тугопластичный с примесью гравия до 5-7 %;
- 2) супесь твердая непросадочная озерно-аллювиальная;
- 3) песок пылеватый маловлажный аллювиальный;
- 4) суглинок полутвердый непросадочный озерно-аллювиальный;
- 5) суглинок мягкопластичный с примесью органического вещества озерно-аллювиальный;
- 6) песок пылеватый влажный аллювиальный;
- 7) песок пылеватый водонасыщенный аллювиальный;
- 8) глина полутвердая слабозаторфованная аллювиально-делювиальная;
- 9) суглинок полутвердый элювиальный;
- 10) дресвянистый грунт коры выветривания песчаников и аргиллитов.

Грунты выделенных ИГЭ будут служить естественным основанием. Насыпные грунты в качестве естественного основания не используются ввиду их малой мощности (0,5–1,0 м).

С целью уточнения литологических границ и оценки несущей способности грунтов основания проведен анализ результатов статического зондирования грунтов до глубины 11,4–13,6 м, который показал, что несущая способность свай сечением 30×30 см достаточно равномерно увеличивается по глубине песчано-суглинистой толщи различной консистенции, достигая максимальных значений в песке пылеватом маловлажном. Таким образом, свайное основание по условиям работы свай сечением 30×30 см и длиной 9–10 м можно отнести ко II типу грунтовых условий, когда несущая способность свай обеспечивается как за счет трения грунта по боковой поверхности свай, так и, в основном, за счет наличия под острием свай несущего слоя.

Гидрогеологические условия территории обусловлены стратиграфической и геоморфологической приуроченностью её к окраинной части склона Томь-Яйского междуречья. Подземные воды установлены на глубине 2,0–3,0 м. Водовмещающим грунтом является аллювиальный песок пылеватый с прослоями песка мелкого и в подошве склона – насыпной грунт с суглинистым заполнителем. Мощность водоносного горизонта на участке застройки составляет 2,5–4,5 м. Подземные воды безнапорные. Положение зеркала подземных вод повторяет изменения гипсометрических отметок рельефа поверхности земли на данной территории.

По химическому составу подземные воды относятся к гидрокарбонатным с переменным катионным составом и по отношению к бетонным конструкциям при периодическом их смачивании неагрессивные.



Данный водоносный горизонт на свайные фундаменты проектируемой застройки с учетом максимального положения уровня в паводковые периоды года отрицательного влияния не окажет. Однако, в случае нарушения поверхностного стока дождевых и талых вод и аварийных или постоянных утечек из водонесущих коммуникаций возможно образование на глубине 2,2–2,6 м техногенного водоносного горизонта. В связи с этим уровень техногенных вод может повышаться в первые 10 лет на 0,1 м/год и в последующий период с 10 до 15 лет – на 0,025 м/год [2].

Необходимо учесть, что если здания будут располагаться перпендикулярно направлению потока разгрузки подземных вод, то барражный эффект также будет оказывать отрицательное влияние на свайный фундамент.

Промерзание почвы, набухание имеют широкое распространение и оказывают решающее влияние на выбор проектных решений, строительство и эксплуатацию объектов. При открытии котлованов в осенне-зимний период необходимо исключить замачивание и промерзание супеси твердой и песка пылеватого маловлажного, так как это может вызвать развитие нормальных и касательных сил морозного пучения грунтов.

Таким образом, на основании анализа инженерно-геологических условий территории застройки можно рекомендовать следующие мероприятия по предотвращению подтопления территории.

Предотвращение поступления на территорию поверхностных вод со стороны р. Томи путем устройства дамб обвалования, преграждающих пути потоку поверхностных вод из реки и других водоёмов во время паводков, или путём искусственного повышения территории подсыпкой или намывом грунта.

Усиление дренающего действия расположенных вблизи водоёмов. Для этого производят расчистку русел и ручьёв, иногда снижают горизонт воды в прудах и других водоёмах путем механической перекачки воды.

Организацию стока талых и дождевых вод на самой территории для уменьшения их инфильтрации в грунт. Организуется ливневая канализация, вертикальная планировка территории и рациональное складирование отходов производства. Вертикальная планировка территории должна способствовать ускорению стока поверхностных вод; ливневая канализация должна быть выполнена в полном объёме и пропускная её способность должна соответствовать нормам.

Устранение утечек из водопроводно-канализационной системы и других водных коммуникаций. Суть мероприятия заключается в тщательном устройстве уплотнений в стыках подземных трубопроводов, а также изоляция их от различных механических и физико-химических воздействий.

Вдоль дорог и проездов одновременно со строительством должны быть выполнены кюветы с обязательными отводами из них вод за пределы территории.

Во избежание барражирующего действия зданий, сооружений и коммуникаций они, по возможности, должны быть расположены параллельно потоку грунтовых вод.

Необходимо предусматривать наружную гидроизоляцию подземных частей зданий для предохранения их от подтопления грунтовыми водами.

Отмостки зданий и сооружений в местах примыкания к зданию должны быть без зазоров [1].

#### Литература

1. Прогноз и предотвращение подтопления грунтовыми водами территорий при строительстве / Под ред. С.К. Абрамова. – М.: Стройиздат, 1978. – 176 с.
2. СП 11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства. – М.: 1997. – часть I.

### ПОВЕРХНОСТНЫЕ ПРОЯВЛЕНИЯ КАРСТА В ПЕРМСКОМ КРАЕ: ФАКТОРЫ РАЗВИТИЯ

О.В. Клёцкина

Научный руководитель доцент И.И. Минькевич

*Пермский государственный университет им. М.Горького, г. Пермь, Россия*

Карстовый процесс существенно осложняет различные виды строительства: гидротехническое, промышленное, дорожное. Он наносит значительный ущерб экономике края и страны, вызывает аварии на нефте- и газопроводах, железных дорогах, шахтах и мостовых переходах через реки.

В связи с особой опасностью карстовых процессов вопросу поверхностных карстопроявлений уделяется большое внимание, поскольку они являются наглядными и прямыми критериями развития карста.

В соответствии с этим необходимо выявление и изучение развития поверхностного карста на территории Пермского края.

Поверхностные карстовые формы на территории края представлены каррами, воронками, котловинами, рвами, депрессиями, карстовыми логами, карстовыми долинами, мостами, арками. Они развиты на окраине Восточно-Европейской платформе, в Предуральском краевом прогибе и на территории Западноуральской зоны складчатости. Особенности развития карстовых форм определяются различным сочетанием природных и техногенных факторов. Главными из них являются: литологическое разнообразие карстующихся горных пород, условия их залегания, рельеф, климат, тектонические условия, зоны движения и состав вод, техногенное воздействие.

В Пермском крае развиты *три литологических типа карста*: карбонатный, сульфатный и соляной.

Наибольшие плотности воронок (до 1000 шт/км<sup>2</sup> и более), коэффициенты площадной закарстованности (до 20–40 %) и карстовой денудации (до 1,5 м) характерны для гипсового и карбонатно-гипсового карста. Карбонатный карст отличается, как правило, меньшими величинами показателей. В карбонатных породах находятся наиболее глубокие пещеры края, а воронки в этих породах значительно меньших размеров.

В соляных породах для широкого развития карста необходимо наличие трещин (путей движения) и движущейся маломинерализованной воды, но соляные породы, как правило, являются монолитными, перекрыты водоупорными терригенно-карбонатными породами и залегают в нашем регионе на значительной глубине.

В условиях сульфатного карста наибольшее развитие получают поверхностные формы, что связано с гидрогеологическими особенностями сульфатных и карбонатно-сульфатных толщ горных пород в Пермском крае [1]. На ранней стадии развития карста в карбонатно-сульфатных толщах подземный сток сосредотачивается на контакте с рыхлым покровом и карбонатными породами, тогда как незакарстованные ангидриты играют роль водоупоров. В переслаивающихся сульфатных и карбонатных толщах увеличивается глубина распространения карстующихся пород. А вместе с ней возрастает вероятность образования новых карстовых форм на поверхности.

Некоторые карстовые формы характерны для определенных видов горных пород. К примеру, карры развиты в основном в известняках, отмечены в гипсах и солях, но не свойственны отложениям доломита и мела. А карстовые депрессии характерны для гипсоангидритов. Наиболее благоприятны для их развития контакты сульфатных пород с карбонатными или терригенными.

Рельеф и климат местности во многом определяют то, в каких именно формах будет проявляться карстовый процесс, а также влияют на интенсивность его развития. Отдельные проявления карста свойственны определенному типу климата, а также приурочены к определенным формам рельефа.

В карстовых районах Пермского края наибольшей плотностью воронок отличаются гипсы и ангидриты в пределах сводов локальных поднятий, где мощность покровных отложений меньше, а трещиноватость пород интенсивнее, склонов и присклоновых участков междуречий, вблизи логов. В таких условиях часто формируются карстовые депрессии. Плотность воронок на речных террасах уменьшается с возрастанием мощности аллювия [2].

Умеренно-континентальный климат Пермского края является определяющим в распространенности тех или иных проявлений карста и степени их развития. Характерными карстовыми формами края считаются воронки, депрессии, котловины. А карры, карстовые арки, мосты, останцы встречаются на Урале и в Предуралье сравнительно редко. Они свойственны районам тропического карста.

Карры встречаются небольшими участками на обнаженных берегах р. Сылвы и её притоков. Изредка данные образования располагаются и в бортах воронок и логов. К типичным обстановкам образования карров относятся горы, плато, побережья морей, где выпадает большое количество осадков в виде сильных дождей. На развитие карров влияют состав, структура, текстура породы, густота трещин. Сильно трещиноватые породы разрушаются механически и не образуют карров [2].

Существенное значение для активности карстового процесса имеет трещиноватость и тектоника. Например, карстовые рвы развиваются вдоль раскрытых тектонических трещин, трещин отседания склонов или трещин «бортового отпора». Протяженность рвов может достигать нескольких километров, имея при этом ширину до 150 м, а глубину 8–10 м [2, 6].

Многие исследователи отмечают приуроченность воронок к зонам тектонических нарушений. Имеются три типа ассоциаций воронок в зависимости от господствующих систем трещин: линейный, включающий иногда десятки воронок вдоль господствующих систем трещин; ортогональный – вдоль параллельных систем трещин, пересекающихся под прямым углом; диагональный – при пересечении трещин под острым углом. Отмечают приуроченность воронок к тектоническим уступам, причём воронкам на поверхности соответствуют обвално-осыпные завалы в пещерах. Воронки и более крупные депрессии вытянуты соответственно простиранию тектонических структур или границ пород различного состава. Существует также зависимость плотности, глубины и морфологии карстовых форм от неотектонической активности локальных структур [2].

Тектонические трещины играют основную роль в карстообразовании. В целом трещиноватость, пористость и квернозность пород создают единую гидравлическую систему, обеспечивающую движение воды в карстующемся массиве.

Движение карстовых вод в массиве горных пород подчиняется гидродинамической зональности. Зоны движения и состав вод во многом определяют активность карстового процесса. Значительные полости образуются в зоне переходной циркуляции карстовых вод (Г.А. Максимович, 1963), где в течение года многократно меняется направление потока с вертикального на горизонтальное и наоборот. Например, в условиях влияния Камского водохранилища сезонные изменения мощности переходной зоны увеличиваются. Из-за этого возрастает частота карстовых провалов. Так на территории пос. Полазна с 1956 г. по 1961 г. произошло 11 провалов, тогда как в предыдущие 50 лет зафиксировано 2 провала [4].

Скорость движения подземного потока также определяет способность воды к растворению. Так в зоне влияния водохранилища скорость растворения гипса возрастает с увеличением скорости потока воды. Из-за влияния агрессивных вод Камского водохранилища карстовый процесс активизируется. Плотность карстовых воронок на отдельных участках вдоль береговой зоны достигает 100 шт/км<sup>2</sup>, на водоразделах она составляет 10–20 шт/км<sup>2</sup> [4].

Прямое и опосредованное техногенное воздействие на геологическую среду способно изменить характер и скорость карстообразования. Техногенное воздействие на природную среду возникает при строительстве промышленных и гражданских объектов, вдоль линий магистральных газопроводов, автомобильных и железных дорог, в районах разработки месторождений, на территории городов и других населённых пунктов.

Техногенное влияние, на наш взгляд, имеет различную направленность. Если в местах прохождения трасс газопроводов, например в Ординском районе, вблизи Камского водохранилища на Чусовском мысе техногенное вмешательство вызывает активизацию карстового процесса и как следствие – появление свежих провалов. В с. Усть-Кишерть под воздействием человека происходит засорение воронок и карстовых озёр отходами и ускоряется их зарастание и заиливание дна [5]. В таком случае проявление карста на поверхности встречается значительно реже, в то время как химический состав воды карстовых озёр (2006–2007 гг.), подтверждает наличие активного карстового процесса.

Итак, в некоторых районах края карстовый процесс идет очень активно и проявляется через поверхностную зарастованность территории, образование свежих провалов, оседаний. В других районах протекание карстового процесса не столь активно отражается на поверхности. Такие различия зависят от природных и антропогенных факторов (от их особенностей), характеризующих отдельно взятые районы. К природным факторам относят тектонические условия, фактор трещиноватости, литологию карстующихся пород, состав и мощность покровных отложений, рельеф, климат, растительность. Из антропогенных факторов в Пермском крае наибольшее влияние на развитие карста оказывают водохранилища, разработка месторождений, прохождение магистральных газопроводов.

Наибольшие плотности поверхностных карстовых форм Пермского края приурочены к сводовым частям куполообразных поднятий и валов, к зонам трещиноватости, к областям распространения сульфатных пород с небольшими мощностями покровных отложений, к зонам высокой вертикальной расчлененности рельефа, к областям наибольшей концентрации осадков, а также к районам повышенной техногенной нагрузки. Среди перечисленных факторов особую роль играют гидрогеологические условия территории.

При детальном изучении факторов выясняются сложные закономерности в развитии карстового процесса. Определение таких закономерностей может стать темой для новых исследований.

#### Литература

1. Горбунова К.А. Карст гипса СССР. – Пермь, 1977 – 84 с.
2. Горбунова К.А. Карстование. Вопросы типологии и морфологии карста: Учебное пособие по спецкурсу. – Пермь, 1985. – 88 с.
3. Горбунова К.А. Морфология и гидрогеология гипсового карста: Учебное пособие по спецкурсу. – Пермь, 1979. – 95 с.
4. Килин Ю.А., Минькевич И.И. Карст Чусовского мыса Камского водохранилища //Иновационный потенциал естественных наук: Тр. Междунар. науч. конференции. – Пермь. 2006. – С.91–94
5. Клещкина О.В., Кипина И.В. Сравнительная характеристика поверхностных карстопроявлений в пгт.Усть-Кишерть по материалам 1978 и 2006 гг. // Сергеевские чтения: Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. – М.:ГЕОС, 2008. – вып.10. – С. 146-150.
6. Назаров Н.Н., Карст Прикамья. – Пермь: Изд-во Перм.ун-та, 1996. – 94с.
7. Ячуч Л. Морфогенез карстовых областей. – Москва, 1979. – 392 с.

### ХАРАКТЕРИСТИКА ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПЛОЩАДКИ №2 ПОД СТРОИТЕЛЬСТВО СЕВЕРСКОЙ АЭС

Д.Ю. Куксгаузен

Научный руководитель доцент О.Ф. Зятева  
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Инженерно-геологические условия это один из важнейших факторов при выборе места расположения любого здания или сооружения. Актуальность изучения этого фактора становится более очевидной при выборе площадки строительства такого важного и ответственного объекта как АЭС. Целью исследований является изучение компонентов геологической среды, отражающих особенности инженерно-геологических условий площадки строительства и их характеристику.

Основные черты геоморфологического строения территории предопределены денудацией и эрозионной деятельностью протекающих по территории рек. В пределах изучаемой площадки протекают рр. Черная и Мостовка, имеющие северо-западное направление. Основная часть площадки – водораздельная поверхность с коротким и пологим юго-западным и наиболее вытянутым и крутым юго-восточным склонами. Максимальные абсолютные отметки рельефа достигают 157 м на водоразделе и минимальные 103 м в пойме р. Черная. Относительные превышения высот в пределах площадки изменяются от 0,5 до 35 м.

На инженерно-геологическом разрезе, построенном автором по данным бурения и опробования, выполненного ВНИИПИЭТ, отражено геологическое строение изучаемой площадки на глубину до 50 м. При построении инженерно-геологического разреза автором также использованы геологические материалы А.В. Кривенцова, которым было проведено стратиграфическое расчленение вскрытых в процессе бурения отложений.

С поверхности, как видно на рисунке повсеместно залегает федосовская свита ( $laQ_{1-III}fd$ ) нерасчлененных озерно-аллювиальных отложений неоплейстоцена. Отложения литологически представлены глинами, суглинками, супесями и песками небольшой мощности в кровле. Мощность свиты меняется от 12 до 17м.

Кочковская свита ( $aQ_E kc$ ) эоплейстоцена сложена аллювиальными отложениями. Свита залегает на отложениях неогенового возраста (N). В северо-западном направлении её отложения выклиниваются. Литологически отложения этого стратиграфо-генетического комплекса представлены суглинками, песками различной крупности. Средняя мощность свиты 15 – 18 м.

Повсеместно на территории площадки распространены нерасчлененные прибрежно-морские отложения неогенового возраста (N), залегающие на отложениях лагерно-томской ( $P_3lt$ ) свиты. Литологически отложения представлены песком и линзами суглинков и глин. Мощность отложений достигает 20м.

Лагерно-томская свита ( $P_3lt$ ) представлена озерно-аллювиальными отложениями. Распространены лагерно-томские отложения также повсеместно. Литологически отложения свиты представлены преимущественно песком. Вскрытая мощность составляет 37м.

Изучение состава и физико-механических свойств грунтов осуществлялось в испытательной инженерно-геологической лаборатории ВНИИПИЭТ. При определении гранулометрического состава и физических свойств грунтов использовались общепринятые методики.

Автором были обобщены и проанализированы материалы исследований. Исследованиями установлено высокое содержание в глинистых грунтах пылеватой фракции (до 85 %). Пески по гранулометрическому составу - средние и

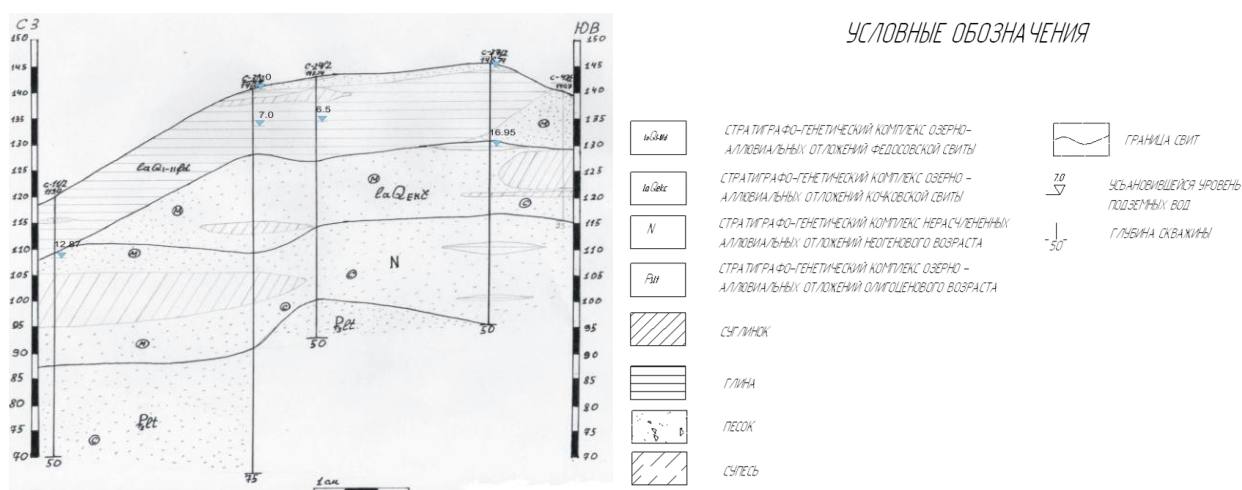
мелькие. По форме кривых гранулометрического состава и полученных в процессе их обработки гранулометрических коэффициентов было установлено, что пески неоднородные ( $K_c = 9$ ), преимущественно не суффозионные ( $K_c = 9$ ) и неоднородные.

При анализе результатов лабораторных исследований физико-механических свойств грунтов выделенных стратиграфо-генетических комплексов (СГК) автором установлено, что глины в основном твердые и полутвердые, состояние суглинков изменяется от твердых до текучепластичных. Коэффициент водонасыщения близок к единице. Компрессионный модуль деформации глин невысокий и изменяется от 4 МПа до 24 МПа в интервале нагрузок  $P_{быт} + 0,1$  МПа.

В пределах изучаемой площадки вскрываются пески различной плотности: от рыхлых до плотных. В разрезе всех СГК встречаются пески различной степени водонасыщения. Преобладают пески от средней степени водонасыщения (30 %) до водонасыщенных (40 %).

Наибольшее влияние на условия строительства и эксплуатацию планируемого сооружения будут оказывать палеогеновый и неоген-четвертичный водоносные комплексы, которые на данной площадке можно рассматривать как единый комплекс. Водовмещающими являются пески и супеси. По данным бурения статический уровень устанавливается на глубине более 6 м. Питание водоносных комплексов осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков, а так же за счет напорных вод нижележащих водоносных комплексов. По химическому составу воды гидрокарбонатные кальциевые и гидрокарбонатные кальциево-магнєвые с минерализацией до 0,5 г/л.

На изменение геодинамической обстановки на площадке преимущественное влияние будет оказывать локально слабоводоносный эоплейстоценовый озерно-аллювиальный горизонт ( $laQ_{EK2}$ ), приуроченный к неоген-четвертичному водоносному комплексу. Водовмещающими породами являются мелкие пески. Мощность отложений изменяется от 0 до 20,0 м. Перекрыт горизонт отложениями федосовской свиты, которая сложена глиной, суглинками и песками. Воды горизонта напорно-безнапорные.



Составил: Куксгаузен Д.Ю., 2009 г.

Масштабы: горизонтальный 1:10000  
вертикальный 1:500

**Рис. Инженерно геологический разрез**

Приуроченность площадки к междуречью рек Черная и Мостовка предопределяет развитие процессов, связанных с деятельностью поверхностных вод, таких как донная и в меньшей степени боковая эрозия. Результатами донной эрозии являются сужения долин рек и увеличение крутизны склонов коренных бортов. Боковая эрозия выражена в коленообразных изгибах долин рек. На площадке активно развита деятельность временных линейных водотоков и связанные с ней процессы оврагообразования. Особенности геоморфологического строения площадки предопределяют также благоприятные условия для оползнеобразования.

В результате изучения важнейших компонентов геологической среды можно сделать следующие выводы.

1. Геоморфологические условия площадки не очень благоприятны в силу достаточно больших относительных превышений рельефа, которые при строительстве потребуют подрезки склонов, что в свою очередь может активизировать различные склоновые процессы.

2. Гидрогеологические условия неблагоприятны из-за неглубокого залегания верховодки мощностью около 2 м.

3. Грунтовые условия характеризуются присутствием в разрезе неустойчивых глинистых и водонасыщенных песков.

#### Литература

1. Евсеева Н. С. География Томской области – Томск: ТГУ, 2001.

## ФАКТОРЫ ОВРАГООБРАЗОВАНИЯ В РАЙОНЕ СТРОИТЕЛЬСТВА СЕВЕРСКОЙ АЭС В ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

А.В. Леонова

Научный руководитель доцент Т.Я. Емельянова  
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Геологические процессы часто осложняют проведение строительных работ и разрушают существующие здания и сооружения. Развитие этих процессов на любой территории является неблагоприятным фактором, который может привести к значительному экологическому и экономическому ущербу. На территории ЗАТО Северск планируется строительство атомной станции. В связи с этим необходимо особенно тщательно изучить все развивающиеся здесь геологические процессы, поскольку экологический ущерб, в случае нарушения нормальной эксплуатации станции, будет весьма значительным.

С целью изучения геологических процессов, развивающихся на территории предполагаемого строительства, здесь было проведено маршрутное обследование с подробным описанием, отбором образцов. Изучены площадная и %-ная пораженность её геологическими процессами, размеры явлений. В процессе изучения динамики развития процессов изучались такие показатели, как количество и приращение длины активизировавшихся и образовавшихся явлений. Выполнены лабораторные определения показателей свойств грунтов.

На изучаемой территории наибольшее развитие получили современные геологические и инженерно-геологические процессы, связанные с особенностями климата (достаточное и избыточное увлажнение), рельефом поверхности, специфическим составом и состоянием поверхностных отложений, глубиной залегания грунтовых вод, а также с техногенной деятельностью. Наибольшее развитие на этой площади получило оврагообразование.

Рост оврага, как известно, начинается с его вершины, где вода вымывает узкую щель шириной в первые метры. По мере роста эта щель удлиняется, а ширина достигает десятков метров, формируется лог. Глубина вреза зависит от местоположения оврага и его базиса эрозии. Оврагообразование формирует в отдельных местах «неудобные» земли, поражающие почти 40 % изучаемой площадки. Овраги в бортах образуют многочисленные ответвления, отвершки, благодаря которым сформировалась сложная овражно-балочная сеть, которая приурочена к склонам междуречья Мостовка-Черная. Овражно-балочную систему можно отнести к сильноветвящемуся типу. От максимальных высот площадки по направлению к долинам рек расходится разветвленная сеть балок и логов, сухих и с постоянными водотоками. Большая часть ее задернована, залесена (рис. 1), но изредка встречающиеся в них по склонам трещины и стенки отрыва говорят о продолжающихся эрозионных процессах.

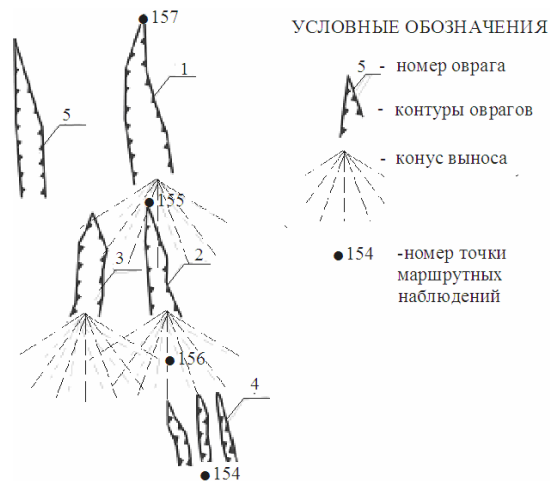


Рис. 1. Залесённые склоны оврага и оползневая стенка отрыва (Фото автора, 2009 г.)

На изучаемой территории овраги имеют различные размеры и находятся на разных стадиях развития – от промоин и растущих оврагов до задернованных и заросших лесом балок. Овраги, развитые на изучаемом участке, имеют разные размеры: ширина составляет от 2 до 43 м, глубина их от 0,5 до 7,0 м. Длина участков, пораженных оврагами, составляет около 1,5 км и более.

Основными условиями, способствующими развитию процесса, являются: состав грунтов, представленных легкоразмываемыми породами – пылеватыми суглинками, супесями и песками; наличие временных водотоков и техногенный фактор – строительство и эксплуатация дорог, снятие дернового покрова на участках с небольшими уклонами, ведущие к возникновению промоин. Продолжаются эти процессы, по-видимому, не один десяток лет, о чем свидетельствуют заросшие, почти незаметные овраги в лесу справа от дороги по направлению в п. Красный Яр вдоль брошенных из-за интенсивного развития оврагов и промоин дорог. Необходимо отметить, что оврагообразование на территории – активизирующийся процесс и затухание его по естественным причинам происходит довольно редко.

В силу наличия в геологическом разрезе легко размываемых пород и высокой интенсивности летних дождей в районе работ возможно формирование оврагов даже при небольших уклонах местности.



**Рис. 2. Схема расположения оврагов на изучаемом участке**

На изучаемом участке склоны оврагов, как правило, задернованы, сглажены. Продольный профиль имеет вид плавной кривой, а поперечный в верхней части сохраняет обрывистые формы, в нижней – выполаживается. На склонах оврагов и балок растут березы, встречаются осины, пихты и невысокие ели (до 40 см). Много валежника. Склоны покрыты обильной травяной растительностью: осокой, хвощем, папоротником и др. Наблюдаются небольшие кочки, образованные осокой высотой до 7 см, диаметром до 25 см, на которых растет мох (точка № 1322). На склонах наблюдаются бугры, трещины, оползания.

По дну оврагов, как правило, течет временный водоток. Наблюдается свежий, четкий извилистый врез шириной от 40 до 105 см, глубиной от 15 до 30 см, который продолжает углублять и расширять овраг. Во врезе оврага обнажаются песок и супесь.

Однако необходимо отметить, что современные растущие овраги встречаются и на ровных поверхностях, имеющих незначительные уклоны. Развитие оврагов на этих участках связано, по-видимому, с техногенной деятельностью человека, такой как уничтожение растительности, нарушение целостности пород.

Нельзя однозначно сказать о природе происхождения овражно-балочной сети на территории изучаемого участка. Возможно, развитие подобных форм рельефа связано с таким фактором развития, как современные тектонические движения, в результате которых изменяется положение местного базиса эрозии. Временные водотоки активизируют свою размывающую деятельность, стремясь достигнуть местного базиса эрозии, после достижения которого, вновь затухают на некоторое время. Об этом свидетельствует вид эрозионных форм – склоны и борта покрыты растительностью, а на дне наблюдается свежий врез.

## **РЕСУРСЫ И ВОДНЫЙ БАЛАНС ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОДОНОСНЫХ ГОРИЗОНТОВ В РАЙОНЕ ПОЛИГОНОВ ПОДЗЕМНОГО ЗАХОРОНЕНИЯ ЖИДКИХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ (СХК)**

**Ал.Ан. Лукин, Е.В. Шмурыгина**

Научный руководитель доцент А.А. Лукин

*Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

Объектом изучения являются технологические водоносные горизонты, которые используются как пласты-коллекторы в промышленной технологии подземного захоронения жидких радиоактивных отходов (ЖРО) Сибирского химического комбината (СХК).

Задача исследования: обоснование предельной границы пластового распространения закачиваемых отходов, обусловленной природной структурой водных ресурсов и баланса технологических горизонтов. На этой основе – оценка экологической безопасности действующих полигонов подземного захоронения ЖРО.

**Общая характеристика условий и экологическая проблема района.** В географическом плане район находится на юго-востоке Западно-Сибирской низменности, в нижней части бассейна реки Томи. Кроме полигонов захоронения ЖРО в районе эксплуатируются три крупных водозабора подземных вод. Полигоны и два Северских водозабора расположены в правобережной части бассейна, Томский водозабор – в левобережной. Расстояние от полигонов до Северских водозаборов 8–9 км, до Томского – 15–18 км. Полигоны захоронения эксплуатируются с 1963 г., водозаборы: Томский – с 1973 г., Северские – с 1961 и 1970 гг. соответственно [10, 11].

В общем структурно-геологическом плане район находится на юго-восточной окраине Западно-Сибирской эпигерцинской плиты [12]. Плита в региональном гидрогеологическом районировании отнесена к сложной пластовой надпорядковой гидрогеологической структуре. Она одноименно называется или гидрогеологическим мегабассейном [6], или артезианской областью [4]. Пластами-коллекторами ЖРО являются II и III горизонты (симоновская свита верхнего мела). Водоупор D и горизонт IV (сымская свита, верхний мел) играют функцию буфера в технологии подземного захоронения. Водоносный горизонт V (юрковская и новомихайловская свиты палеогена) эксплуатируются Северскими и Томским водозаборами подземных вод. Глубина закачки отходов 300–400 м (II горизонт) и 280–300 м (III горизонт); глубина эксплуатационных скважин на воду 110–170 м [10, 11]. В результате многолетней эксплуатации водозаборов

сформировались депрессионные воронки не только в эксплуатируемом палеогеновом водоносном горизонте, но и в горизонтах мелового комплекса.

Проблема гидродинамического и гидрогеохимического взаимодействия полигонов и водозаборов является острой геологической проблемой района. Её решение разделило специалистов. Одни [8–10] считают, что это взаимодействие уже существует или неизбежно наступит. Другая группа специалистов [3, 11] в своих работах приводит доказательства, что радиус площади загрязнения полигонов в настоящее время не превышает 1,5 км.

Нашими исследованиями проблема обоснования взаимодействия полигонов и водозаборов решается на основе расчетов водных ресурсов и баланса фильтрационных потоков в технологических водоносных горизонтах.

**Расчетная схема.** В качестве расчетных схем используются плановые гидродинамические сетки потоков. Сетки построены на основе карт гидроизопьез водоносных горизонтов. Такие сетки в расчетах водных ресурсов и водного баланса глубоких горизонтов артезианских структур широко используются в работах [1, 2]. Особенность нашего подхода состоит в том, что карты гидроизопьез построены с использованием морфоструктурных моделей поверхности рельефа [5].

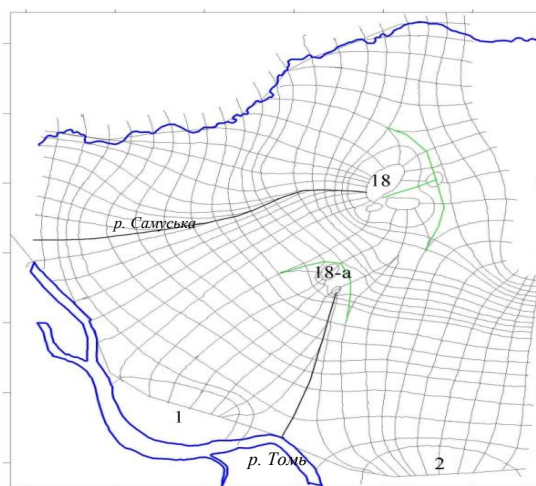


Рис. 1. Расчетная гидродинамическая сетка II горизонта

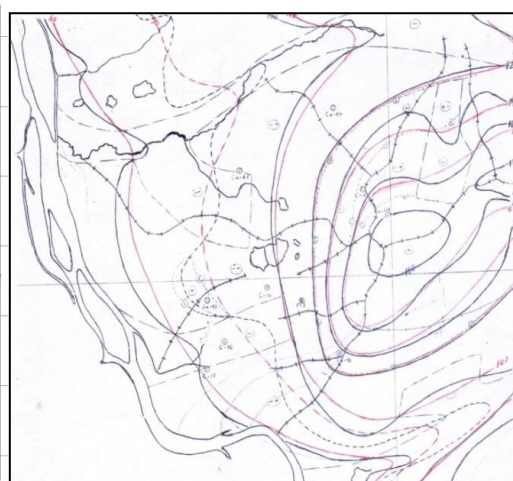


Рис. 2. Структурная карта поверхностей рельефа 4 и 5 порядков

На рис. 1 показана расчетная схема воднобалансовой области для II технологического водоносного горизонта. На рис. 2 для этой же площади представлены в совмещенном виде структурные карты поверхностей рельефа 4 и 5 порядков. Структурирование поверхностей по порядкам выполнено согласно «волновой» методике сглаживания рельефа [5]. По этой методике каждый последующий порядок карт «сглаживает» волновой рисунок изогипс предыдущего порядка по их точкам перегиба. Это показано на рис. 2.

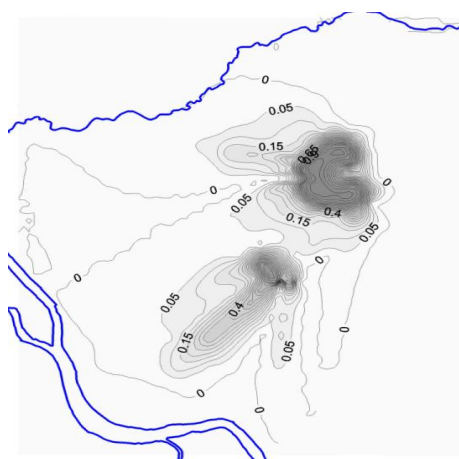


Рис. 3. Карта изменения  $K_{вот}$

Морфология структурных поверхностей рельефа высоких порядков причинно обуславливает пространственную структуру фильтрационных потоков II – V горизонтов. Это видно при сравнении рис. 2 и 1. Локально искажают напорное поле Северские водозаборы 1 и 2, а для II и III горизонтов – полигоны подземного захоронения ЖРО 18 и 18-а (рис. 1).

**Исходные понятия, условия и результаты расчетов.** Под *структурой водного баланса* нами понимается пространственное распределение в водоносном горизонте положительного и отрицательного типов водного баланса в пластовой (латеральной) составляющей фильтрационного потока. Структура водного баланса является отражением структуры водообменных систем горизонтов. В нашем понимании *водообменная система* – это сопряженная структура распределения областей питания и разгрузки подземных вод как элементов системы водоносного горизонта. Области питания (положительный водный баланс) и разгрузки (отрицательный водный баланс) структурно организованы рельефом, его морфоструктурой. В водообмене, формирующем тот или иной тип водного баланса, решающее значение нами отводится межгоризонтному перетеканию (*морфологическая модель перетекания* А.Н. Мятлева [7]). По данной

модели, согласно второй предпосылке перетекания, области питания и разгрузки в водоносном горизонте сопряжены линейно.

Расчетная гидродинамическая сетка (рис. 1) принимается неизменной в геологическом времени существования морфоструктуры. Климатические режимобразующие факторы, формирующие сезонные и среднеголетние амплитудные изменения напорного поля, близки к 0,5 м. Суперпозиция их на макроструктуры напорного поля,

организованные геологически устойчивым рельефом, привносит ничтожный вклад в искажение сетки. Расходы фильтрационных потоков в ячейках сетки (рис. 1) рассчитываются по формуле Дарси. В нее входят геометрические характеристики напорного поля (параметры ячейки, напорный градиент) и водопроводимость пласта. В параметре водопроводимости эффективная мощность для каждой ячейки снималась с карты изопохит, а коэффициент фильтрации горизонта принят средним для всей расчетной области и равным 1м/сут. В матричном электронном виде сформирована база данных исходных условий и расчетных характеристик для каждой ячейки сетки. Рассчитаны и построены карты распределения основных водноресурсных и воднобалансовых характеристик горизонта: расхода, единичного расхода, модуля и слоя стока, модуля вертикального перетекания, воднобалансового коэффициента остаточного загрязнения ( $K_{603}$ ).

Целевой картой исследования является карта изменения  $K_{603}$  по направлению фильтрационного потока от отмеченных границ полигонов захоронения ЖРО. Коэффициент связывает снижение доли промышленных отходов при изменении водного баланса в латеральном потоке: при отрицательном балансе – за счёт уменьшения объема, при положительном – за счёт «разбавления». По определению – пределы его изменения от 1 до 0. Карта показана на рис. 3. Из рисунка видно, что предельная граница латерального распространения отходов (нулевая изолиния коэффициента), обусловленная воднобалансовой структурой II горизонта, удалена от полигонов на 400–4000 м. Близкую воднобалансовую картину по распределению этого коэффициента имеет III водоносный горизонт.

Из расчетов и картографических построений следует основной экологический вывод: загрязнение питьевых вод не только Томского, но и Северских водозаборов объективно невозможно пластовым путем миграции ЖРО. Это «запрещено» природной структурой водного баланса технологических водоносных горизонтов.

#### Литература

1. Всеволожский В.А. Подземный сток и водный баланс платформенных структур. – М.: Недра, 1983. – 167 с.
2. Дюнин В.И. Гидрогеодинамика глубоких горизонтов нефтегазоносных бассейнов. – М.: Науч.мир, 2000. – 472 с.
3. Зубков А.А., Данилов В.В и др. Анализ системы геотехнологического мониторинга полигона подземного захоронения жидких радиоактивных отходов СХК // Разведка и охрана недр–М., 2008 – № 10. – С. 76-81.
4. Кирюхин В.А. Региональная гидрогеология: – СПб.: СПб. ГИ (ТУ), 2005. – 344 с.
5. Лукин А.А. Опыт разработки методики морфоструктурно-гидрогеологического анализа. – Новосибирск: Наука, 1987. – 112 с.
6. Матусевич В.М., Рыльков А.В., Ушатинский И.Н. Геофлюидальные системы и проблемы нефтегазоносности Западно-Сибирского мегабассейна. – Тюмень: Изд-во ТюмГНГУ, 2005. – 225 с.
7. Мятлев А.Н. Напорный комплекс подземных вод и колодцы // Изв. АН СССР. – М., 1947. – № 9. – С. 1069–1088.
8. Попов В.К., Коробкин В.А., Рогов Г.М и др. Формирование и эксплуатация подземных вод Обь-Томского междуречья. – Томск: Изд-во ТГАСУ, 2002. – 143 с.
9. Рихванов Л.П. Общие и региональные проблемы радиоэкологии. – Томск: Изд-во ТПУ., 1997. – 384 с.
10. Рогов Г.М. Гидрогеология и геоэкология Кузнецкого угольного бассейна. – Томск: Изд-во ТГАСУ, 2000. – 167 с.
11. Рыбальченко А.И., Пименов М.К., Костин П.П. и др. Глубинное захоронение жидких радиоактивных отходов. – М.: ИздАТ, 1994. – 256 с.
12. Черняев Е.В., Кошкарев В.Л., Колмакова О.В. и др. Геолого-геофизическая модель Северной площади // Изв. Томск. политехн. ун-та. – Томск, 2002 – Т. 305. – Вып. 6. – С. 414 – 433.

### СОЗДАНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПО ПОДЗЕМНЫМ ВОДАМ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

**А.С. Мирошкина, Е.В. Шмурыгина**

Научный руководитель профессор М.Б. Букаты

*Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

Сибирская платформа, одна из крупных древних платформ, расположенная в средней части Северной Азии. Западная граница платформы в большинстве работ проводится по долине р. Енисей; северная — совпадает с южной окраиной гор Бырранга; восточная — с низовьями р. Лены (Приверхоянский краевой прогиб); на юге она проходит вдоль разломов по южной окраине Станового и Яблонового хребтов; затем, огибая с севера по сложной системе разломов Забайкалье и Прибайкалье, спускается к южной оконечности оз. Байкал; юго-западная граница платформы простирается вдоль главного Восточно-Саянского разлома. Особенностью Сибирской платформы является ее сложное геологическое строение и гидрогеологические условия [2].

В течении последних двух десятков лет продолжается формирование базы данных (БД) по нефтегазоносным районам Сибирской платформы. Она содержит таблицы, в которых находится информация по скважинам, предназначенная для развития в исследуемом регионе системы информационного геологического и гидрогеологического обеспечения геологоразведочных и промысловых работ применительно к природным условиям и особенностям данного крупнейшего геологического региона.

Для создания и обслуживания БД используется MS Access (v. 2003 и 2007), а в качестве основного средства визуализации пространственно распределенных данных геоинформационная система (ГИС) – ArcGIS (v. 9.1 - 9.3). Главная задача ГИС: предоставить возможность отображения и анализа данных, хранимых в СУБД MS Access, связывая их с картой. Основной причиной выбора СУБД MS Access стали:

- 1) сравнительно небольшие на современном этапе объемы данных;
- 2) необходимость постоянного пополнения и редактирования информации;
- 3) дальнейшее совершенствование структуры данных.

Последнее связано, в частности, и с переходом от поисково-разведочных работ к проектированию и разработке месторождений нефти и газа.



В период создания БД параллельно осуществлялась доработка программного комплекса (ПК) HydroGeo, который используется в качестве самостоятельного приложения, предназначенного для обработки гидродинамических и геохимических данных. Основные возможности ПК включают:

- 1) расчет фильтрационно-емкостных свойств пород по данным испытания и опробования нефте-, газо- и водонасыщенных объектов глубоких скважин;
- 2) оценку эксплуатационных запасов подземных вод;
- 3) изучение совместимости техногенных, промысловых и пластовых вод и прогноз отложения солей в промысловом оборудовании и коллекторах;
- 4) прогноз развития процессов вторичного минералообразования и растворения минералов пород;
- 5) прогнозирование нефтегазоносности по водно-газовым равновесиям;
- 6) сеточное численное моделирование геофильтрации, геомиграции и гидрогеохимических процессов.

В последние годы в связи с продолжающимся пополнением и проверкой информации, содержащейся в БД, в которой авторы принимали непосредственное участие, в значительной мере пересмотрена, дополнена и уточнена с учетом данных последних лет информация по распространению, геогидродинамике, геотермии и химическому составу подземных вод и свободных, попутных и водорастворенных газов. Уточнены географические координаты скважин и других пунктов наблюдения, разбивки разреза, литолого-стратиграфическая привязка объектов. Занесены результаты испытания и исследования скважин, данные по их конструкциям, особенностям проходки, проявлениям в процессе бурения. Установлена ссылочная целостность БД и проведена нормализация составляющих её таблиц.

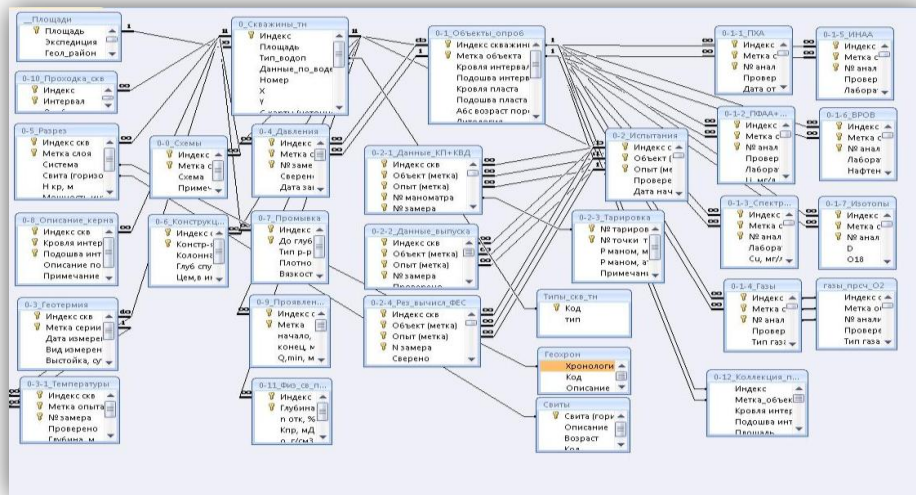


Рис. 1. Схема базы данных

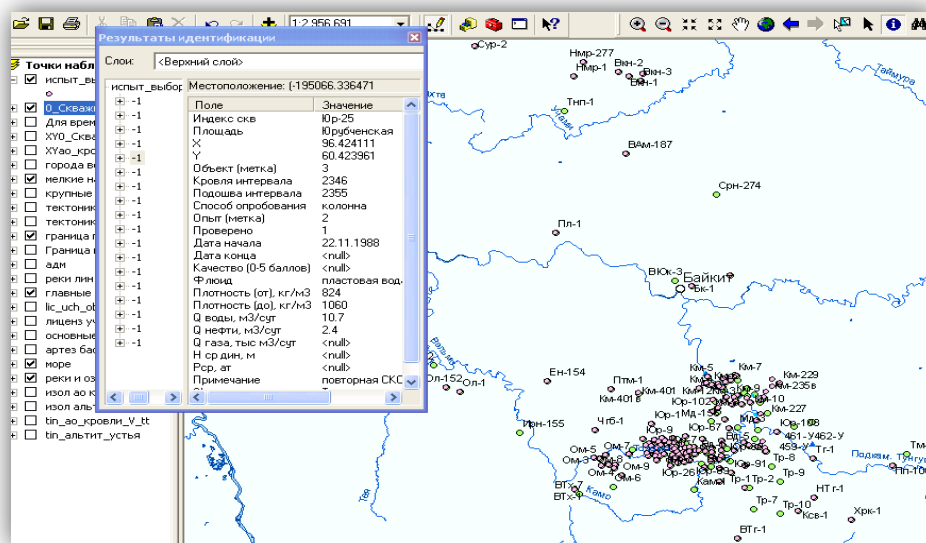


Рис. 2. Визуализации сведений из БД в ГИС

В настоящее время нами выполняется занесение и проверка новой информации по Байкитской антеклизе и Катангской седловине, полученной в последние годы (Оморинская, Собинская, Терско-Камовская, Куямбинская и Юрубченская, площади).

Текущая схема базы данных приведена на рисунке. Как видно из схемы база данных состоит из взаимосвязанных таблиц. В число главных компонентов любой БД входят формы, состав и структура, которые должны быть жестко подчинены типовым процессам работы с БД, перечень которых обычно вырабатывается при использовании БД. Ввиду последнего, в настоящее время в БД включено лишь сравнительно небольшое число форм, необходимость в которых представляется на настоящем этапе очевидной, предполагая, что другие формы сравнительно несложно создать по мере необходимости уже в процессе эксплуатации БД. Существует три основные формы, которые обеспечивают возможность просмотра, ввода или корректировки данных связанных с ними таблиц нулевого и первого уровня вложенности, не открывая самих таблиц или соответствующих запросов.

Следует отметить, что применение технологии ГИС и СУБД невозможно без специалистов-производственников, которые работают с программными продуктами и разрабатывают планы их использования при решении реальных задач. Отличительная черта ГИС и СУБД для предприятия - распределение ее по всей организации, где она используется, причем таким образом, что большое число сотрудников имели доступ к части или ко всем функциям системы посредством технологии клиент-сервер.

В качестве примера стандартной процедуры визуализации сведений из БД в ГИС на рис. 2 показан вывод результатов испытания скважин, осуществляемый простым щелчком по ним мышью в режиме показа информации

Совокупность пространственно определенных данных ГИС геолого-гидрогеологической, гидрогеохимической, гидродинамической, геотемпературной информации формируется из объектов, нанесенных на электронные карты, к которым привязывается описывающая данный объект или качественно характеризующая его часть сформированной базы данных. Каждая карта является эффективным и информативным способом хранения, представления и передачи географической (имеющей пространственную привязку) информации об исследуемых объектах.

В заключение можно отметить, что возможность использования ГИС вместе с системами управления базами данных дает пользователю мощнейший инструмент для работы с базами данных, в которых хранятся пространственные данные. Инструментально-программные средства ГИС и СУБД настолько усовершенствовались, что перед ними можно ставить не только информационно-справочные задачи, но и аналитические. В настоящее время ГИС достигли высокого уровня развития, снизив при этом требования к ресурсам, что позволило им широко распространиться в различных областях человеческой деятельности, так или иначе связанных с обработкой информации, имеющей географическую привязку. Наглядное представление информации в сочетании с быстротой обработки позволяют получить ощутимые преимущества в работе.

#### Литература

1. Букаты М.Б. – М., /Разработка программного обеспечения в области нефтегазовой гидрогеологии. // Разведка и охрана недр. 1997. - № 2. – С. 37-39.
2. <http://enc.lib.rus.ec/bse/008/101/837.htm>.

### ПРОГНОЗ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУР ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕРМАЛЬНЫХ ВОД ЮЖНО-ЧЕРЕМШАНСКОЙ ПЛОЩАДИ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

**М.В. Мищенко**

Научный руководитель профессор М.Б. Букаты

**Томский филиал института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука, г. Томск, Россия**

Южно-Черемшанская площадь, расположенная на западе Томской области, отвечает условиям необходимым для создания на ее территории теплоэнергетического комплекса на основе использования термальных вод. В пределах изучаемого участка имеют широкое распространение подземные воды, относящиеся к категории среднепотенциальных (60–100 °С) для выработки электроэнергии и получения тепла, обладающие обеспеченными запасами при залегании на доступных глубинах (1000–2500 м).

Таблица

#### Исходные характеристики водоносных комплексов

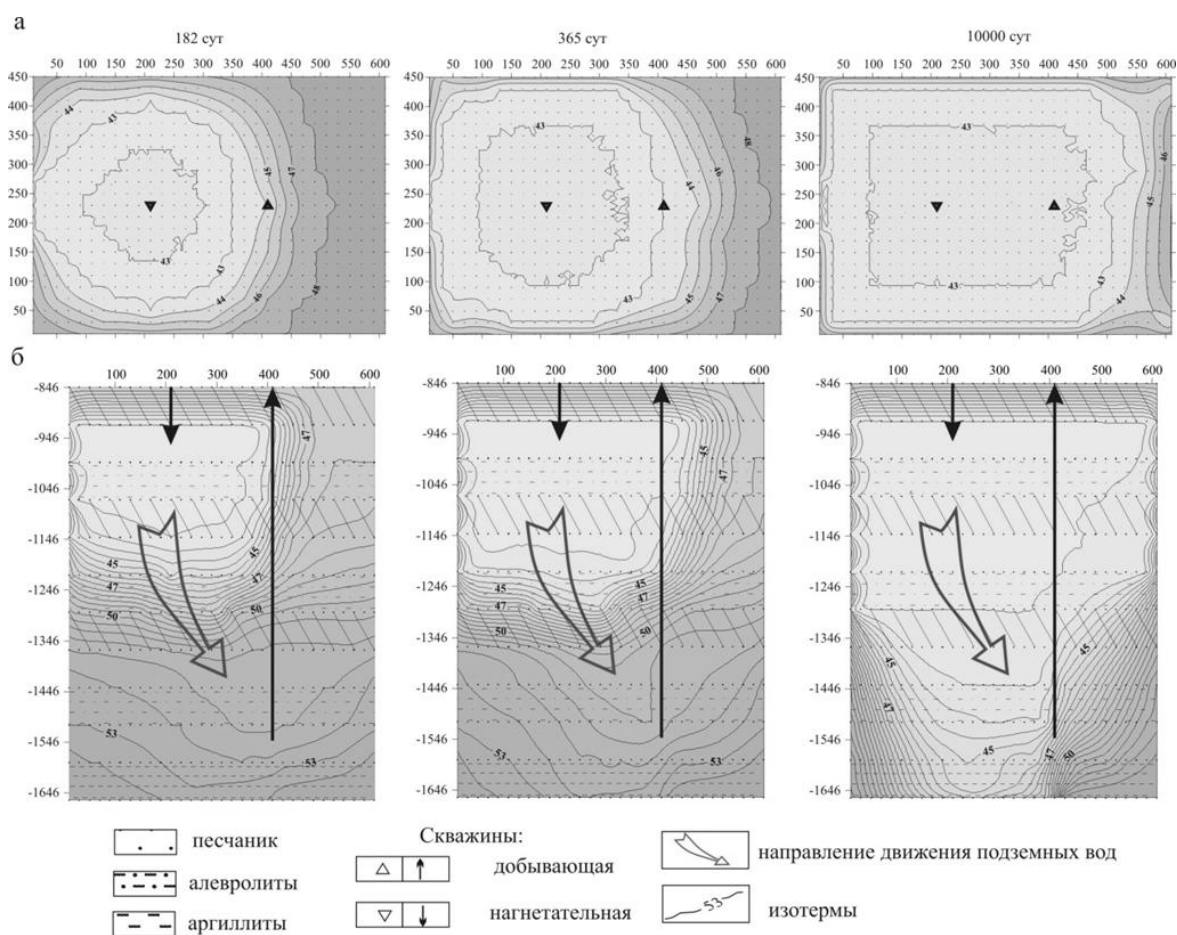
Показатели		Апт–альб–сеноман	Готерив–баррем	Валанжин
Мощность, м		814	517	396
Коеф. фильтрации, м/сут		0,38-0,57	2,86-5,71	2,7-10,4
Коеф. пьезопроводности, $10^3 \text{ м}^2/\text{сут}$		334-479	100-200	120-470
Открытая пористость, %		15-20	20-30	30-40
Протоочная пористость, %		50	60	80
Пластовая температура, °С		48-54	57-65	76-84
Пластовое давление, атм		176,5	190	225
Напор, м		1640	1770	2200
Теплоемкость, $10^6 \text{ Дж}/\text{м}^3\text{К}$	песчаник	1,75	1,9	1,95
	алевролит	1,6	1,85	1,8
	аргиллит	1,65	-	-
	глины	1,9	1,95	2

В связи с оценкой возможного их практического использования возникают вопросы, связанные с анализом изменения температуры подземных вод в процессе их эксплуатации.

Моделирование гидродинамического и геотемпературного поля в процессе эксплуатации подземных вод осуществлено в соответствии с геологическим строением Южно-Черемшанской площади на основе использования 3D-сеточной модели с помощью программного комплекса HydroGeo [1]. Рассматриваемая область фильтрации разбивалась на относительно однородные по фильтрационно-ёмкостным свойствам (ФЕС), составу пород и флюидов блоки, образующие 3-мерную пространственную сетку. Между ячейками такой сетки с использованием метода конечных разностей имитировались фильтрация водных растворов и кондуктивный теплоперенос, после чего выполнялись связанные с ними расчеты процессов дисперсии вещества вод, смешения растворов и конвективного теплопереноса.

Расчет проводился для трех водоносных комплексов (ВК): апт-альб-сеноманского, готерив-барремского и валанжинского. Исходные характеристики водоносных комплексов приведены в табл. Теплопроводность на изучаемом участке принималась с использованием данных работы [2].

Дебиты добывающей и нагнетательной скважин, исходя из потребностей небольшого населенного пункта, приняты равными 5000 м<sup>3</sup>/сут. Расчеты проводились на моменты времени 182 и 365 сут. (контрольные точки в период работы) и 10000 сут. (расчетный срок эксплуатации водозабора). Расстояние между добывающей и нагнетательной скважинами условно принято равным 200 м. Мощность каждого водоносного комплекса задавалась исходя из литологического строения разреза. Принималось, что за счет снятия тепла на нужды отопления и получения электроэнергии подземные воды теряют 20 % от начальной температуры. В качестве внутренних источников-стоков модели используются добывающая и нагнетательная скважины, расположенные в блоках X21, Y12 и X11, Y12 соответственно.



**Рис. Прогноз изменения температуры подземных вод по площади (верхний ряд – горизонт обратной закачки) и разрезу (нижний ряд) по данным моделирования из апт-альб-сеноманского водоносного комплекса при «закрытом» цикле эксплуатации**

Моделирование процесса извлечения подземных вод проводилось для «закрытого» (извлечение подземных вод и закачка их после снятия тепла в тот же водоносный комплекс) и «открытого» циклов эксплуатации (извлечение подземных вод из одного водоносного комплекса и закачка их в другой).

Расчеты показали, что для обоих случаев характерна асимметричность изменения температур связанная с плановым размещением добывающей и нагнетательной скважин. Несмотря на наличие относительно водоупорных

горизонтов в разрезе, наблюдается вертикальный переток вод. В «закрытом» цикле эксплуатации, это приводит к тому, что в начальный период работы эксплуатационного водозабора наблюдается значительный перепад температур между водозаборной и нагнетательной скважинами (рис.), что обусловлено наличием внутри каждого из водоносных комплексов глинистых отложений, которые являются относительными как водо-, так и теплоупорами. Однако при длительной эксплуатации поле температур в межскважинном пространстве выравнивается, что связано с вытеснением горячих подземных вод частично охлажденными возвратными. В целом при этом наблюдается снижение температур добываемых вод во времени.

В качестве примера показаны результаты расчетов изменения температур апт–альб–сеноманского водоносного комплекса при «закрытом» цикле эксплуатации подземных вод (рис.).

В «открытом» цикле эксплуатации повышение температур обусловлено главным образом наличием перетока в возвратном горизонте. Добывающий горизонт, в целях оптимизации затрат, должен находиться глубже чем возвратный; поэтому в нашем случае целесообразно приурочить первый горизонт к нижней части разреза (валанжинский ВК), а второй – к верхним проницаемым слоям (апт–альб–сеноманский ВК). В дальнейшем изменения связаны с вытеснением более горячими возвратными водами подземных вод.

При длительной эксплуатации, как и в случае «закрытого» цикла, происходит постепенное увеличение влияния возвратных вод на более глубоко залегающие подземные воды и породы, т.е. происходит незначительное снижение их температуры. Но в этом случае изменения малы и для принятого срока эксплуатации ими можно пренебречь.

Проведенное моделирование показало, что эксплуатация подземных термальных вод обуславливает изменение геотемпературного поля. Основными его причинами являются литологические условия изучаемой территории, мощности водоносных комплексов, длительность воздействия закачиваемых вод и способ их эксплуатации.

Более выгодным, с точки зрения использования подземных вод, является открытый цикл эксплуатации, поскольку в этом случае при длительной эксплуатации сброски температур практически не происходит.

Работа выполнена при поддержке РФФИ и Минпромнауки РФ (гранты 06-05-64166, 07-05-00877, НШ-3561.2008.5).

#### Литература

1. Букаты М.Б. Разработка программного обеспечения для решения гидрогеологических задач // Известия Томского политехнического университета. – Томск, 2002. – Т. 305. – № 6. – С. 348–365.
2. Курчиков А.Р., Ставицкий Б.П. Геотермия нефтегазоносных областей Западной Сибири. – М.: Недра, 1987 г.-134 с.

### ГИДРОГЕОЛОГИЯ ДЕВОНСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ БАСЕЙНА РЕКИ УСМАНЬ (ВОРОНЕЖСКАЯ ОБЛАСТЬ)

**Е.С. Овчинникова**

Научный руководитель профессор В.Л. Бочаров  
**Воронежский государственный университет, г. Воронеж, Россия**

В гидрогеологическом разрезе бассейна р. Усмань выделяются два структурных гидрогеологических этажа. Подземные воды верхнего этажа приурочены к терригенным породам современного, четвертичного и неогенового возрастов; нижнего – концентрируются в глубоких горизонтах терригенно-карбонатных пород девона.

Непосредственно под водоупорной верхнесемилукской терригенной свитой ( $D_3sm_2$ ) залегают обводненные породы *саргаевско-нижнесемилукского водоносного карбонатного комплекса* ( $D_3sr-sm_1$ ). Породы данного комплекса представлены трещиноватыми известняками с маломощными прослоями глин. Верхняя часть комплекса сложена глинами нижнесемилукской подсвиты. Мощность водовмещающих пород 15–19 м. Общая мощность комплекса составляет 22–27 м. Воды напорные, высота напора 45–60 м. Пьезометрический уровень устанавливается на абсолютных отметках 105–110 м. Водообильность зависит от степени трещиноватости известняков. Коэффициент фильтрации составляет 0,05–0,1 м/сут. Удельный дебит скважин около 0,1 м<sup>3</sup>/ч.

По химическому составу преобладают гидрокарбонатные натриевые воды с минерализацией 0,2–0,3 г/дм<sup>3</sup>. Общая жесткость не превышает 4,5 мг–экв/дм<sup>3</sup>. Район находится в области разгрузки вод этого горизонта. Совместно с белгорским водоносным горизонтом породы саргаевско–нижнесемилукского водоносного карбонатного комплекса могут использоваться для хозяйственно-питьевого водоснабжения.

В подошве комплекса залегают слои аргиллитоподобных глин мощностью 1–1,5 м, который отделяет его от нижележащего *локально водоносного мулинско-тиманского терригенного комплекса* ( $D_2ml-tm$ ).

Комплекс представлен переслаивающимися алевролитами и песчаниками, которые обводнены, и глинами плотными и аргиллитоподобными. В водоносный комплекс входят мулинская свита среднего девона, а также ястребовские и чаплыгинские слои токаревской толщи верхнего девона.

Общая мощность комплекса увеличивается с юга на север от 50 до 70 м. Мощность обводненных алевролитов и песчаников составляет 30–35 м. Воды напорные, высота напора достигает 50–60 м. Пьезометрический уровень устанавливается на абсолютных отметках 95–100 м, иногда выше поверхности земли, то есть происходит самоизлив из гидрогеологических скважин. Коэффициент фильтрации водовмещающих пород изменяется в пределах 0,2–0,9 м/сут. Водообильность комплекса небольшая – удельные дебиты скважин не превышают 0,5–1,0 м<sup>3</sup>/ч.

По химическому составу подземные воды мулинско-тиманского комплекса гидрокарбонатные, гидрокарбонатно–хлоридные натриевые. Минерализация их не превышает 0,8–0,9 г/дм<sup>3</sup>. Общая жесткость невысока – 2,3 мг–экв/дм<sup>3</sup>.

В связи с малой водообильностью и большой глубиной залегания водоносный комплекс не эксплуатируется на территории района.

Водовмещающими породами локально водоносной воробьевско-ардатовской свиты ( $D^2$  vb-ar) служат воробьевские отложения: алевролиты и песчаники с прослоями тонкозернистых песков общей мощностью до 20 м. В кровле свиты залегает мощная пачка плотных аргиллитоподобных глин ардатовского возраста, изолирующая водоносные породы свиты от вышележащего водоносного мулинско-тиманского комплекса. Нижний региональный водоупор отсутствует и во многих местах имеется тесная гидравлическая связь с нижележащим водоносным мосоловским горизонтом. Воды напорные, высота напора достигает 140–150 м и увеличивается в северо-восточном направлении. Абсолютные отметки пьезометрического уровня равны 103–107 м. В пойме может происходить самоизлив воды по скважинам. Коэффициент фильтрации водовмещающих пород 0,6 м/сут. Удельный дебит скважин 0,3–0,7 м<sup>3</sup>/ч.

По химическому составу вода хлоридная и хлоридно-сульфатная натриевая. Минерализация составляет 1,6 г/дм<sup>3</sup>.

Подземные воды этого гидрогеологического подразделения для хозяйственно-питьевых нужд непригодны из-за высокой минерализации.

Наиболее глубоко залегающим в районе является водоносный мосоловский карбонатный горизонт ( $D_2$  ms). Водовмещающие породы представлены органогенными известняками, часто кавернозными и трещиноватыми, с маломощными прослоями глин. Мощность составляет 10 м. Верхний и нижний региональные водоупоры отсутствуют и горизонт имеет гидравлическую связь с воробьевско-ардатовской терригенной свитой и с водами кристаллического фундамента. Воды высоконапорные, величина напора составляет 170–180 м. Пьезометрический уровень устанавливается на абсолютных отметках 110–115 м. В пойме скважины фонтанируют на 9 м над поверхностью земли. Коэффициент фильтрации трещиноватых известняков 1,4 м/сут. Удельные дебиты скважин 0,3–0,4 м<sup>3</sup>/час.

Подземные воды горизонта имеют смешанный химический состав, но преимущественно это сульфатно-хлоридные натриевые воды. Минерализация их наибольшая и составляет 1,7 г/дм<sup>3</sup>. Общая жесткость увеличивается от 4,6 до 5,9 мг-экв/дм<sup>3</sup>.

Водоносный горизонт практически не эксплуатируется в связи с малой водообильностью, превышением норматива по минерализации и большой глубиной залегания.

## ПРОБЛЕМЫ ЗАХОРОНЕНИЯ СТОЧНЫХ ВОД НА НЕФТЕГАЗОПРОМЫСЛАХ СЕВЕРА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Н.В. Семенова

Научный руководитель профессор В.М. Матусевич

Тюменский государственный нефтегазовый университет, г. Тюмень, Россия

Закачка промышленных сточных вод в глубокие геологические горизонты освоена в большинстве высокоразвитых стран различными отраслями промышленности. В Западной Сибири захоронение промышленных стоков в подземные горизонты началось осуществляться в связи с разработкой систем поддержания пластового давления при нефтегазодобыче. Проведенный анализ геологического строения и гидрогеологических условий в северных районах Западной Сибири показал, что оптимальным объектом утилизации излишков подтоварных вод является апт-альб-сеноманский гидрогеологический комплекс, который надежно изолирован от вышележащих водоносных комплексов и открытых водоемов региональным глинистым водоупором кузнецовской-люлинворской свиты и толщей многолетнемерзлых пород, имеет высокие коллекторские свойства песчаных пород (коэффициент фильтрации – 0,37–0,7 м/сут., коэффициент водопроницаемости – 68,8–97,3 м<sup>2</sup>/сут., коэффициент пьезопроводности – 2,97–6,4·10<sup>5</sup> м<sup>2</sup>/сут.), что обеспечивает высокую приемистость скважин (от 100 до 7000 м<sup>3</sup>/сут.).

В результате проведенных расчетов по различным методикам (методика Стиффа-Девиса, Дебая-Гюккеля, термодинамическое моделирование физико-химических процессов в смешиваемых водах) было установлено, что пластовые воды апт-альб-сеноманского гидрогеологического комплекса и подтоварные воды перенасыщены относительно карбоната кальция, поэтому возможно выпадение осадка. Величина осадка в разных пропорциях смеси может составить 0,044–0,211 г/дм<sup>3</sup> [1].

В настоящее время утилизация промышленных стоков является природоохранным мероприятием, так как решает две задачи: обезвреживание стоков и частичное восполнение снижающегося пластового давления в результате отбора подземных вод для целей поддержания пластового давления. Однако подземное захоронение сточных вод может нанести ущерб окружающей среде и недрам при несоблюдении норм проектирования, строительства и эксплуатации полигонов подземного захоронения сточных вод. Особого внимания в этой связи требуют нагнетательные и наблюдательные скважины, а также сооружения по сбору и транспортировке утилизируемых вод.

Охрана недр и окружающей среды при подземном захоронении сточных вод предусматривает проведение комплекса мероприятий, направленных на предотвращение разливов и утечек утилизируемых вод в системе их сбора, подготовки и транспортировки, приводящих к поверхностному загрязнению почвогрунтов, открытых водоемов и подземных вод верхних водоносных горизонтов.

Автором были проведены расчеты контура и площади растекания промышленных стоков на месторождениях Ноябрьского района (Спорышевское, Пограничное, Холмогорское, Ярайнерское), которые показали, что загрязнение пластовых вод подтоварными будет происходить главным образом в пределах объекта утилизации (апт-альб-сеноманский гидрогеологический комплекс).

Для прогноза распространения сточных вод в поглощающем гидрогеологическом комплексе принималась схема движения сточных вод в однородном неограниченном пласте без учета скорости движения пластовых вод (закачка в условиях бассейна), представляющая их равномерное растекание по поглощающему горизонту во все стороны от нагнетательной скважины. Фронт распространения закачиваемых вод имеет форму окружности.

Учитывая тот факт, что гидравлические уклоны апт-альб-сеноманского гидрогеологического комплекса весьма незначительны ( $2,0-2,3 \cdot 10^{-4}$  м/м), эта схема прогноза на ближайшие 15–20 лет вполне приемлема. Как показывают прогнозные расчеты, учитывающие изменение гидравлических уклонов в процессе утилизации подтоварных вод, радиальная форма фронта распространения закачиваемых стоков может сохраняться в течение длительного (до 20 лет) срока эксплуатации месторождения.

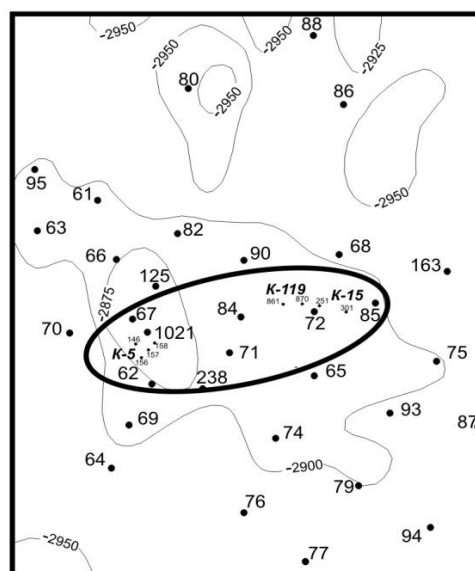
Рассчитанные в ходе исследований радиус контура загрязнения сточных вод, его площадь, параметры зоны микробиологического загрязнения для группы Ноябрьских месторождений представлены в табл.

Таблица

Расчет радиусов контура, микробиологического загрязнения и площади загрязнения

Месторождение	Радиус контура загрязнения, м	Площадь контура загрязнения, м <sup>2</sup>	Радиус микробиологического загрязнения, м
Спорышевское	676	5297920,3	126
Пограничное	153	42518,67	29
Холмогорское	125,54	28628,22	23,44
Ярайнерское	456	377868,48	85

В качестве примера на рисунке авторами показана область загрязнения от закачки промышленных стоков на Пограничном нефтяном месторождении. Как видно из рисунка, в целом область загрязнения находится в контурах границ лицензионного участка Пограничного нефтяного месторождения.



Условные обозначения:

- 79 • Скважина поисково-разведочная
- 156 • Скважина нагнетательная
- 2950 — Изогипсы по отражающему горизонту "Б"
- Контур растекания закачиваемых стоков

Рис. Схема растекания закачиваемых стоков на Пограничном месторождении нефти

Весьма перспективным (пока для небольших объемов жидких отходов) при наличии благоприятных геологических условий представляется способ глубинного захоронения с гидравлическим разрывом пласта. При этом в массиве слабопроницаемых пород образуется система искусственных трещин, которые в процессе нагнетания заполняются промстоками. В Тюменской области для этих целей можно использовать региональный водоупор – глины дат-туронского комплекса, имеющие мощность до 800 м [2].

На первый взгляд, весьма удобные выше перечисленные варианты захоронения промстоков, могут оказаться роковыми для освоения Западно-Сибирского региона. Основания к тому следующие.

Ввиду существования блоковой дифференциации геофлюидальных систем, что освещено в ряде работ В.М. Матусевича, А.Д. Резника, закачиваемые в недра жидкости будут поступать не в матричные элементы структуры гидросферы, где бы они «запечатывались» в них на века, как хотелось бы ожидать [3].

По мнению названных авторов, с учетом широкого развития «гидрофобных» коллекторов в разрезе Западной Сибири инородные жидкости, наоборот, будут в основном концентрироваться в межблоковых элементах, то есть в

существенно более проницаемых подвижных каналах фильтрации, рассекающих и коллекторы и так называемые водоупоры. Именно таков в основном механизм обводнения нефтяных залежей. В процессе быстропотекающих эволюций гидрогеодинамического поля, закачиваемые жидкости будут в полном объеме неизбежно вытесняться в направлении от областей сжатия, то есть вверх по разрезу, в сторону минимального геостатического давления, попутно отравляя горизонты как минерализованных, так и пресных подземных вод. Разбавление же их природными подземными водами по пути транспортировки вверх по разрезу фактически не произойдет по причине незначительной доли объема боковых каналов фильтрации в общей массе водонасыщенных пород (матриц).

В свете всего вышеизложенного возникает необходимость углубленного исследования особенностей взаимообусловленности геофлюидальных систем и гидрогеодинамического поля, важного в теоретическом и прикладном аспектах.

Необходимой мерой для охраны подземных вод верхних питьевых водоносных горизонтов является создание санитарно-защитных зон вокруг сооружений по подземному захоронению сточных вод.

#### Литература

1. Кашавцев В.Е., Гаттенберг Ю.П., Люшин С.Ф. Предупреждение солеобразования при добыче нефти. – М.: Недра, 1985. – 215 с.
2. Матусевич В.М. Захоронение промстоков в водоносные горизонты // Большая Тюменская энциклопедия. – Тюмень, 2004. – Т.1. – С. 246 – 247.
3. Матусевич В.М., Резник А.Д. Геофлюидальные системы и гидрогеодеформационное поле // Известия вузов. Нефть и газ. – Тюмень, 1997. – №5. – С. 52 – 57.

### ПРИРОДНЫЕ ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ РЕСУРСОВ ПРЕСНЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВОД СРЕДНЕОБСКОГО БАСЕЙНА СТОКА

**А.А. Ташбулатов, М.В. Вашурина**

Научный руководитель профессор А.Р. Курчиков

*Научно-исследовательский институт гидрогеологии и геотермии, г. Тюмень, Россия*

Природные факторы по характеру воздействия на формирование ресурсов пресных подземных вод обычно подразделяют [2] на две основные группы: физико-географические и геолого-гидрогеологические. Факторы первой группы обуславливают лишь потенциальную возможность восполнения подземных вод, реализация которой (степень восполнения) определяется факторами второй группы. Так, интенсивность водообмена есть функция климата (количества атмосферных осадков и их испарения), характера рельефа, литологического состава пород, их проницаемости.

Современная гидрогеодинамическая обстановка, характер и интенсивность водообмена являются одним из важнейших факторов формирования ресурсов пресных подземных вод в пределах рассматриваемой территории.

Неотектонические движения Западно-Сибирской плиты определили основные черты современной динамики подземных вод зон интенсивного и замедленного водообмена кайнозойского гидрогеологического бассейна и формирование подсистемы бассейнов стока – естественных гидрогеологических районов, включающих в себя области питания, стока и разгрузки подземных вод и совпадающих с бассейнами рек. Территория исследуемого района [3] располагается в пределах центральной части Среднеобского бассейна стока, характерной особенностью которого является расположение его в гумидной зоне, в полосе избыточного увлажнения.

Разрез Среднеобского бассейна стока сложен континентальными песчано-глинистыми отложениями эоцен-олигоцен-четвертичного возраста общей мощностью до 400 м. Образование водоносных и слабопроницаемых горизонтов тесно связано с основными этапами неотектонического развития и осадконакопления [1]. В течение олигоценового этапа, характеризующегося интенсивным прогибанием территории, формируется мощный водоносный горизонт отложений атлымской и новомихайловской свит. Заканчивается данный этап образованием толщи слабопроницаемых отложений (туртасская и абросимовская свиты), что определило затрудненный водообмен основного горизонта с поверхностью. В период четвертичного этапа, который отличается наибольшей активизацией положительных движений, происходит образование водоносного горизонта аллювиальных отложений современных речных долин. Глубокое врезание речной сети привело к значительному размыву нижележащих (неогеновых и верхнеолигоценовых) отложений и усилению гидравлической связи грунтовых и артезианских вод. Четвертичный этап оказал главное влияние на формирование и направление движения подземного стока всего разреза бассейна, поскольку положение современных областей питания (водоразделы) соответствует положительным тектоническим элементам, а области разгрузки (реки) – отрицательным.

Бассейн стока подземных вод можно рассматривать как единую многослойную водообменную систему в зоне гипергенеза геосинеклизы, области питания потоков вод которой практически совпадают с площадью их распространения. Для них характерно преобладание площадного питания через верхнюю границу системы и вертикального водообмена. Потоки подземных вод формируются здесь на всем пути своего следования преимущественно за счет рассредоточенной инфильтрации метеогенных или болотных вод, изменяющейся по площади в зависимости от мерзлотно-гидрогеологических условий, литологического состава зоны аэрации (перекрывающей толщи), степени увлажнения и заболоченности территории. При этом величина питания подземных вод при установившемся естественном режиме фильтрации в пределах такой водообменной системы становится практически равной величине стока и разгрузки в реки-дрены. Пьезометрические напоры в нижней части водообменной системы в зонах разгрузки превышают напоры вышележащих пластов, уровни грунтовых вод и урезы рек.

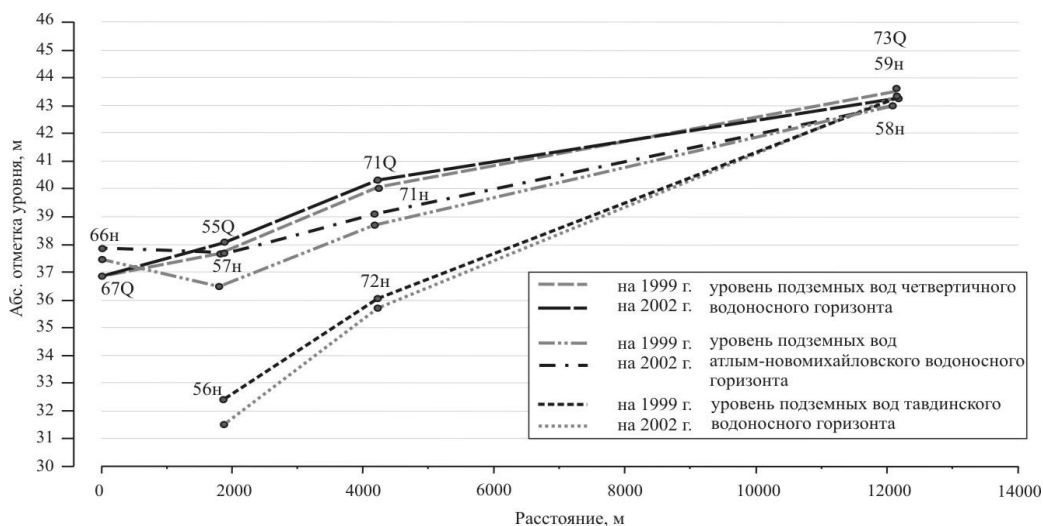
Значительная увлажненность рассматриваемой территории (среднегоголетняя годовая величина осадков 615 мм) обеспечивает высокую потенциальную возможность инфильтрационного питания и обуславливает

благоприятные условия формирования здесь значительных ресурсов пресных подземных вод. В весеннее время в зоне аэрации задерживается до 40–60 % талых снеговых вод, обеспечивающих наряду с инфильтрацией жидких атмосферных осадков в летне-осеннее время обильное питание подземных вод верхней водообменной системы. Обилие крупных рек и озер так же является благоприятным фактором восполнения ресурсов данных вод.

Средняя заболоченность в районе в настоящее время составляет около 35 %. В болотных ландшафтах, где обводненными торфяниками с огромным количеством внутриболотных озер занята практически 1/3 часть всей исследуемой площади, в формировании ресурсов и запасов подземных вод важную роль играет болотное инфильтрационное питание. Атмосферные осадки, прежде чем попасть в зону насыщения водоносной системы, протекают через торфяной «фильтр», проходя болотный этап формирования своего химического состава, а затем расходуются на нисходящую фильтрацию и круглогодичное постоянное пополнение запасов и ресурсов подземных вод.

Таким образом, в данном случае существует два вида и способа питания подземных вод метеорными водами. Первый – инфильтрация в обычном понимании на суходолах. Второй – обстановка перетока болотных вод без гидравлического разрыва в естественных условиях между питающим слоем и подземными водами четвертичных отложений. В последнем случае инфильтрационное питание можно представить как фильтрацию в слоистой водоносной системе с преимущественно низкими коэффициентами фильтрации и водоотдачей верхней постоянно обводненной питающей части разреза.

Исходя из предпосылок теории перетекания Гириного–Мятиева, обводненные торфяники питают и регулируют в первую очередь водоносные горизонты четвертичных отложений, которые далее питают и регулируют всю многопластовую водоносную систему эоцен-олигоценых отложений. Существующие в данном районе под незамерзающими торфяными болотами таликовые зоны также являются очагами перетока и питания подземных вод инфильтрующимися болотными водами [3].



**Рис. Гидродинамический профиль соотношения уровней подземных вод по створу ярусных узлов наблюдательных скважин**

Исследуемый район территориально входит в границы Нижневарттовского полигона государственного мониторинга подземных вод, где за период 1995–2003 гг. в зоне пресных подземных вод проведены наблюдения за гидродинамическим режимом основных водоносных горизонтов в нарушенной эксплуатацией обстановке. Наблюдения проводились по сети наблюдательных пьезометрических скважин, пробуренных на различные гидростратиграфические элементы и расположенных на групповых и одиночных водозаборах г. Мегиона, р.п. Излучинска, п. Высокого, Ватинского и Самотлорского нефтепромыслов. Анализ соотношения уровней подземных вод по створу ярусных узлов наблюдательных скважин (рис.) свидетельствует о вертикальном водообмене, взаимодействии всех интервалов разреза многопластовой системы Среднеобского бассейна стока в пределах рассматриваемой площади, обеспечивающими в нарушенных гидрогеологических условиях нисходящее движение подземных вод по вертикали, т.е. дополнительное питание подземных вод за счет перетекания сверху, главным образом, из четвертичного водоносного горизонта. Последний, с врезанными в него долинами рек, широкой сетью озер и массивов болот, играет в этом случае, роль контура постоянного напора, обеспечивая устойчивое питание эксплуатируемых интервалов продуктивных атлым-новомихайловского и тавдинского водоносных горизонтов через слабопроницаемые разделяющие слои. Направление и интенсивность перетекания определяются неоднородными фильтрационными свойствами водоносных пород и слабопроницаемых разделяющих пластов, знаком и величиной градиента напора. При градиентах напора 0,3–1, коэффициентах фильтрации нижних горизонтов торфяной залежи и слабопроницаемого подстилающего слоя 10–4 м/сут., суммарной их мощности 10–20 м модуль питания нижележащего водоносного пласта перетеканием из горизонта болотных вод составляет 0,35–1,2 л/с км<sup>2</sup>, или 40–70 % от модулей подземного стока в этих районах, интегрально характеризующих величину питания подземных вод метеорными водами.

Рассматривая результаты проведенных гидрогеологических исследований можно отметить:



1) на изучаемой площади основным источником формирования ресурсов и эксплуатационных запасов пресных подземных вод являются привлекаемые за счет перетекания естественные ресурсы;

2) интенсивность водообмена по всему комплексу показателей снижается с глубиной, что позволяет отнести нижнюю часть системы дренирования к зоне относительно затрудненного водообмена.

#### Литература

1. Генералов П.П. Некоторые особенности новейшей тектоники Западно-Сибирской плиты // Труды ЗапСибНИГНИ. – Тюмень, 1980 – вып. 153 – С. 8-22.
2. Зекцер И.С. Закономерности формирования подземного стока и научно-методические основы его изучения. — М.: Наука, 1977. — 173 с.
3. Смоленцев Ю.К., Кусковский В.С. Особенности формирования подземных вод зоны гипергенеза Западно-Сибирской плиты // Труды института геологии и геофизики Сибирского отделения АН СССР. – Новосибирск: Наука, 1987. – вып. 683 – С. 3-65.

### ИЗУЧЕНИЕ ФИЛЬТРАЦИОННО-ЕМКОСТНЫХ СВОЙСТВ ПРОДУКТИВНЫХ ГОРИЗОНТОВ ЮРБУЧЕНО-ТОХОМСКОЙ ЗОНЫ НЕФТЕГАЗОНАКОПЛЕНИЯ

Н.С. Трифонов

Научный руководитель профессор М.Б. Букаты  
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Получение качественной информации о параметрах пласта позволяет своевременно принять решение о дальнейших работах по скважине и может быть использовано при проектировании эксплуатационных скважин.

В этой связи целью работы стали анализ, обработка и интерпретация материалов, полученных в результате отработки на режимах скважины Камовская-1 (инт. 2326–2334 м, оскобинская свита венда) Камовской площади. Работа осуществлялась в программном комплексе HG [1]. Она включала два этапа.

На первом из них произведена обработка результатов гидродинамических исследований по методу выпуска флюида на устье скважины при установившемся режиме фильтрации («метод установившихся отборов»).

Расчет параметров выполнен в 3-х вариантах: без учета скин-эффекта, с его учетом аналитическим методом по приближенной формуле В.И. Щурова (учитывающей только качество вскрытия) и графоаналитическим способом по скачку давления на индикаторной диаграмме.

Расчет скин-эффекта аналитически по эмпирической формуле В.И. Щурова в данном случае не применим ввиду резкого отклонения прямой, выводимой с учетом рассчитанного значения скин-эффекта, от линии индикаторной диаграммы. Принимать значения ФЕС, рассчитанные без учёта скин-эффекта, также не вполне корректно.

Поэтому наиболее достоверными представляются фильтрационно-ёмкостные параметры, полученные с учётом скин-эффекта графоаналитическим методом.

На рис. 1 показан итоговый индикаторный график  $Q = f(P)$ , с помощью которого оценивается скачок давления за счёт скин-эффекта.

Результаты выполненных расчётов приведены в табл. 1, где курсивом выделены параметры, наиболее точно отражающие ФЕС пород коллекторов.

Вторым этапом работы стала обработка данных по восстановлению уровня («метод восстановления давления»).

За время отработки на режимах скважину дважды закрывали для восстановления давления: первый раз после прямого хода (КВД 1), второй – после обратного (КВД 2).

Обработка выполнялась в следующем порядке.

На графике, построенном по результатам изменения давления при восстановлении, выбираем «ближнюю» (призабойную) зону опробуемого пласта и "дальнюю" (удаленную) зону пласта, не измененную в процессе бурения (рис. 2).

Алгоритм определения фильтрационно-ёмкостных параметров использует стандартные графоаналитические приёмы обработки полученных кривых восстановления давления по методу Хорнера [2]:

$$P_0 - P_3 = \frac{Q_{cp} \cdot \mu}{4 \cdot \pi \cdot m \cdot K_n} \cdot \ln \frac{T + \tau}{\tau},$$

где  $P_0$  – пластовое давление,  $P_3$  – текущее забойное давление,  $Q_{cp}$  – средний дебит за время притока,  $\mu$  – вязкость флюида,  $m$  – эффективная мощность пласта,  $K_n$  – коэффициент проницаемости,  $T$  – продолжительность притока,  $\tau$  – текущее время КВД.

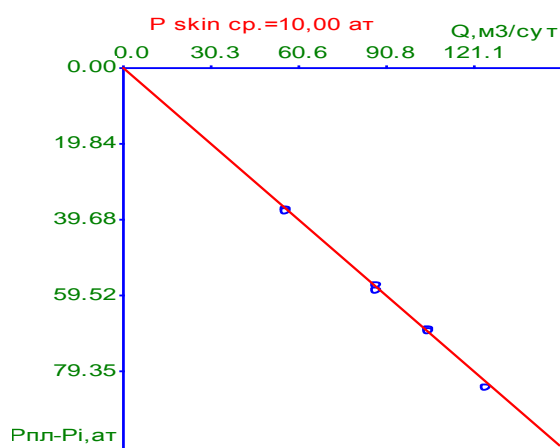


Рис. 1. Индикаторная диаграмма с учётом скин-эффекта графоаналитическим методом

Таблица 1

Расчетные параметры (среднее по 7 определениям)

Параметр	Значения		
	1	2	3
Коэф-т проницаемости, мкм <sup>2</sup>	0,0182	0,0291	0,0235
Коэф-т фильтрации, м/сут.	0,0156	0,0249	0,0201
Коэф-т пьезопроводности, м <sup>2</sup> /сут.	1453,06	2324,9	1877,19
Скин-эффект, б/р	н/опр.	4,405	1,389
Оценка Р стат.-"пласт.", МПа	20,0645	20,0645	20,0645
Гидропроводность, мкм <sup>2</sup> ·м/(Па·с)	182,3	291,6	235,4
Проводимость (Т), м <sup>2</sup> /сут.	0,1248	0,1996	0,1612

Значения: 1—без учёта скин эффекта; 2-с учётом скин-эффекта по формуле Щурова; 3—с учётом скин-эффекта графоаналитическим методом

В процессе визуализации графиков, для более корректной их интерпритации, выполняются проверки времени наступления квазистационарного режима  $\tau_k \geq 2,5 \cdot r^2/a$  и времени  $\tau_e \geq 20 \cdot \pi^2 S/Q$ , начиная с которого погрешность расчётов за счёт влияния ёмкости ствола скважины не превышает 5 %.

При инициализации текущего графика аппроксимирующая прямая проводится по всем точкам наблюдений с использованием метода наименьших квадратов. Слева от точек графика, не удовлетворяющих условию наступления квазистационарного режима, автоматически отрисовывается вертикальная линия красного цвета (при установке аппроксимирующей прямой такие точки игнорируются).

Величина скин-эффекта  $s$ , суммарно характеризующего несовершенство скважины по характеру и степени вскрытия пласта, для одиночной скважины вычислась по зависимости:

$$s = \left( \frac{K_{n,i}}{K_{n,o}} - 1 \right) \ln \frac{r_3}{r},$$

где  $K_{n,i}$  и  $K_{n,o}$  – проницаемости в удалённой зоне пласта и призабойной зоне (например, полученные по последним и первой сериям расчётных точек),  $r_3$  – радиус зоны призабойного изменения фильтрационных свойств пласта при проходке скважины (обычно около 5 см),  $r$  – радиус скважины.

Таблица 2

Фильтрационно-емкостные параметры пласта

Параметры	расчётные		соседние участки					
	КВД 1	КВД 2	Юр-10	Юр-20	Юр-13	Вд-3	Км-2	Км-10
Коэф-т фильтрации*, м/сут	0,003	0,004	-	-	-	-	-	-
Коэф-т проницаемости*, мкм <sup>2</sup>	0,0035	0,0047	-	-	-	-	-	-
Коэф-т фильтрации, м/сут.	0,025	0,031	0,00025	0,00034	0,00012	0,0029	0,0013	0,02
Коэф-т проницаемости, мкм <sup>2</sup>	0,02923	0,0363	0,01	0,086	0,05	-	0,0387	0,0211
Проводимость (Т), м <sup>2</sup> /сут.	0,199	0,245	-	0,026	0,0151	0,02	0,035	0,77
Оценка Р стат – «пласт», МПа	-	-	21,229	20,31	38,1	-	21,861	20,47
Скин-эффект	1,829	1,919	2,3	5,948	2,35	1,085	28,3	4,64–5,6
Коэф-т пьезопроводности	-	-	677,4	516	181	3,761	3034	23756

\* для «ближней» зоны пласта

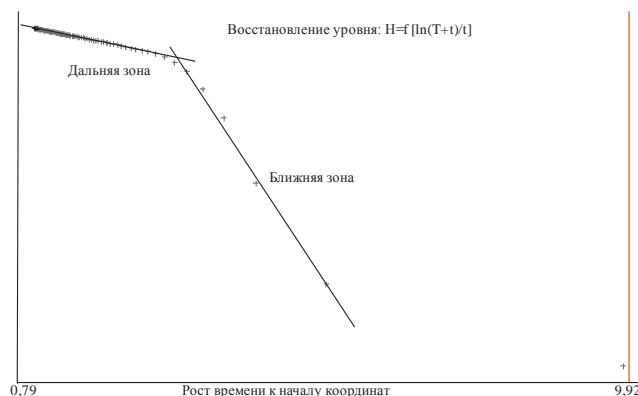


Рис. 2. График временного прослеживания уровня при его восстановлении

Полученные значения ФЕС представлены в табл. 2, дополненной данными по оскобинской свите венда (V osk) соседних Юрубченской, Вэдрэшевской и Куюмбинской площадей.

Проведённая обработка показала, что ФЕС пород-коллекторов в отложениях оскобинской свиты венда на Камовской площади Юрубчено-Тохомской зоны нефтегазонакопления являются сравнительно низкими, что вообще характерно для высоко-литифицированных, карбонатно-терригенных отложений осадочного чехла Сибирской платформы.

В то же время, учитывая легкий состав нефтей и соответственно их низкую вязкость, можно ожидать достаточно высокие дебиты эксплуатационных скважин. В частности, максимальный дебит рассматриваемой скважины в ходе её испытания составил 130 м<sup>3</sup>/сут.

Работа выполнена при поддержке РФФИ и Минпромнауки РФ (гранты 06-05-64166, НШ-9542.2006.5).

#### Литература

1. Букаты М.Б. Разработка программного обеспечения для решения гидрогеологических задач // Известия Томского политехнического университета. – Томск, 2002. - Т. 305. - Вып. 6. – С. 348-365.
2. Поиски и разведка подземных вод для крупного водоснабжения / Под ред. Н.Н. Биндемана и др. – М.: Недра, 1969. – 328 с.

### ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ПЕРСПЕКТИВНЫХ ОБЪЕКТОВ ПОДЗЕМНОЙ УТИЛИЗАЦИИ ПОДТОВАРНЫХ ВОД ЮРУБЧЕНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Н.С. Трифонов<sup>1</sup>

Научный руководитель профессор М.Б. Букаты<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, г. Томск, Россия*

<sup>2</sup>*Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

Одна из гидрогеологических проблем сложных месторождений Восточной Сибири – солёность местных вод. Обводнённость даже первых скважин некоторых месторождений здесь может достигать 30 процентов. Поэтому для обеспечения работы объектов первой очереди промыслов требуется решение вопроса утилизации подтоварных и сточных вод (используемых для технического и хозяйственно-питьевого водоснабжения). Одним из таких месторождений, на котором в настоящее время особенно остро стоит вопрос водоотведения промыслов, является Юрубченское нефтегазоконденсатное месторождение (НГКМ). Ввиду отсутствия для изучаемой территории данных специализированных гидрогеологических исследований, для технически грамотного и экономически эффективного решения этого вопроса необходима его предварительная научная проработка, включающая сбор, систематизацию и анализ всех имеющихся разрозненных материалов по природным водам, распространенным на Юрубченском лицензионном участке (ЛУ), оценку ресурсов природных резервуаров и качества подземных и поверхностных вод разных типов.

Долгое время в нашей стране удаление промышленных стоков осуществлялось либо в поверхностные водные объекты, либо в различного рода хранилища, пруды-испарители, накопители и т.д., располагаемые на поверхности земли. Эти объекты неизбежно являлись источниками постоянного или периодического поступления отходов в поверхностные и подземные воды окружающих такие хранилища участков, откуда опасные компоненты отходов могли за весьма короткие сроки попадать в биологические цепочки. Более того, даже сейчас, на некоторых объектах (производствах) можно встретить подобные способы утилизации жидких отходов. Но, не смотря на это, в последние 15-20 лет интенсивно развиваются и более прогрессивные методы удаления жидких промышленных отходов, такие как подземное захоронение в глубокие водоносные горизонты

На начальном этапе разработки Юрубченского НГКМ, когда утилизация подтоварных и сточных вод выступает в качестве временной меры на период отсутствия системы поддержания пластового давления (СППД), наиболее приемлемым представляется эффективный и экологически безопасный способ «глубинного» подземного захоронения, применяемый в нефтегазовой, химической, атомной и других отраслях для захоронения жидких промышленных отходов [1]. Понятие «глубинное», в данном случае, достаточно условно, поскольку обычно речь идет о захоронении стоков в зоны затрудненного и застойного гидродинамического режима на глубинах от 200–300 до 1000–1400 м.

Выделение подземных водоносных горизонтов, пригодных для захоронения промышленных стоков, как правило, осуществляется по комплексу гидрогеологических признаков – это горизонты, обладающие приемлемыми фильтрационно-ёмкостными свойствами (ФЕС), в зоне распространения соленых и рассольных вод, не имеющих промышленного или бальнеологического значения. За нижний предел минерализации таких вод в США рекомендуется величина 10 г/л [2], но для терригенных бассейнов, с водами пониженной минерализации, это требование не является «жестким», если существуют гидродинамические доказательства затрудненного водообмена (например, полигоны захоронения жидких радиоактивных отходов Западной Сибири, эксплуатирующие водоносные горизонты на глубинах 140–480 м с пресными водами).

В условиях рассматриваемого региона, где засоление пород отмечается уже в эвенкийской свите, а нижнекембрийские отложения соленосны, зона затрудненного водообмена, содержащая сильно соленые и рассольные воды, начинается обычно с глубины 150–200 м ниже местного базиса эрозии. Следовательно, для захоронения подтоварных и сточных вод Юрубченского промысла могут использоваться любые водоносные горизонты ниже этого уровня, при условии наличия у них необходимых фильтрационно-ёмкостных свойств и отсутствия разгрузки в вышележащие водоносные горизонты. В связи с этим размещать полигон закачки следует в гидродинамических зонах

нисходящей фильтрации (в зонах питания), приуроченных к водораздельным пространствам, на максимальном удалении от постоянно действующих водотоков, чтобы избежать разгрузки закачиваемых стоков в долины рек и ручьёв.

С увеличением глубины стоимость строительства нагнетательных скважин резко возрастает, поэтому для создания самостоятельных систем захоронения наибольший интерес представляют горизонты, залегающие ближе к поверхности, но не выше абсолютных отметок  $-50 - +50$  м (учитывая, что урез воды в рр. Тохомо и Юрубчен размещается в пределах Юрубченского НГКМ вблизи отметок  $180-200$  м, где начинается зона солёных вод, не представляющих практического интереса для водоснабжения).

К таким горизонтам в пределах рассматриваемого участка можно отнести *литвинцевско-ангарский* (низы  $\epsilon_{1-2}$  lit, верхняя часть  $\epsilon_{1-2}$  an свит), *булайский*  $\epsilon_1$  bul, *нижебельский*  $\epsilon_1$  bls<sub>1</sub> и *осинский*  $\epsilon_1$  os *водоносные горизонты*. Как альтернативный вариант может также рассматриваться возможность утилизации подтоварных и сточных вод в отложения рифея (ниже уровня ВНК) посредством опережающего строительства и ввода в эксплуатацию одной из проектных нагнетательных скважин, которые в любом случае будут буриться при создании системы поддержания пластового давления.

Наиболее перспективны для захоронения промстоков литвинцевско-ангарский и осинский водоносные горизонты.

Первый из них, удовлетворяющий перечисленным условиям, который на отдельных участках может быть обнаружен на небольших глубинах – нижняя часть литвинцевского подкомплекса  $\epsilon_{1-2}$  lit и наиболее перспективная для использования в целях захоронения подтоварных вод верхняя часть ангарской свиты  $\epsilon_{1-2}$  an (особенно, предполагаемая высокопроницаемая её часть на границе с интрузией долеритов).

Высокопроницаемый трещинно-порово-кавернозный водоносный горизонт рассолов выщелачивания, приуроченный к верхней части карбонатно-соленосной толщи нижнего кембрия, пользуется широким распространением в нижней части литвинцевской - верхней части ангарской свит. Его подошва соответствует границе между соленосной и надсолевой формациями. Этот горизонт не имеет определенной литолого-стратиграфической приуроченности и в зависимости от конкретных условий локализуется там, где образуются высокопроницаемые за счет соляного карста породы, сменяющиеся глубже практически непроницаемой соленосной толщей.

Данные по химическому составу пластовых флюидов нижней части эвенкийской, литвинцевской и ангарской свит в пределах Юрубчено-Тохомского НГКМ ограничены из-за отсутствия к ним практического интереса в период поисково-разведочных работ. Учитывая, что верхняя часть разреза литвинцевской свиты сложена мощными толщами солей, можно предполагать, что подстилающие воды будут равновесны с галитом (т.е. иметь хлоридный натриевый состав), и их минерализация может достигать  $300$  г/л и более (в зависимости от степени промьтости пород).

Основной информацией о коллекторских свойствах отложений литвинцевской и ангарской свит являются сведения о поглощениях в процессе бурения скважин. Глубина залегания поглощающих горизонтов колеблется в пределах от  $437$  м до  $917$  м, составляя в среднем  $600-800$  м, а интенсивность поглощений промывочной жидкости, связанная с наличием и расположением в разрезе интрузии долеритов, составляет  $0,5-100$  м<sup>3</sup>/час, в отдельных случаях достигая катастрофических значений и полной потери циркуляции.

Коллекторские свойства карбонатных пород в разрезе ангарской свиты изучались в колонковых скважинах профиля Тохомо-Куюмба. В кавернозных породах коэффициент пористости достигает значений от  $12,8$  до  $35$  %, в хемогенных плотных доломитах пористость и проницаемость низкие. Коэффициент пористости по результатам обработки ГИС варьирует от  $2,58$  до  $8,25$  %.

Химический состав подземных вод второго перспективного в отношении захоронения промстоков горизонта (осинского) представлен, в основном, хлоридами кальция с подчиненным значением ионов натрия и магния (минерализация  $300-470$  г/л):

Юр-28-1-0	
298.834	Cl- 99.09 Br- 0.59 (SO <sub>4</sub> ) <sup>2-</sup> 0.21 (HCO <sub>3</sub> ) <sup>-</sup> 0.10
	Ca <sup>2+</sup> 45.25 Na <sup>+</sup> 40.54 Mg <sup>2+</sup> 13.86 Fe <sup>2+</sup> 0.25 (NH <sub>4</sub> ) <sup>+</sup> 0.06

От выше- и нижележащих водоносных горизонтов осинский изолирован мощными толщами солей усольской свиты нижнего кембрия. По результатам бурения и проведенных испытаний этот горизонт характеризуется высоким пластовым давлением ( $219$  кгс/см<sup>2</sup>), превышающим давления в рифейской залежи, что свидетельствует о его надёжной гидродинамической изолированности от выше- и нижележащих горизонтов.

Здесь, как и в верхней части ангарской свиты, улучшение фильтрационных свойств горизонта связано с появлением или увеличением в нем трещиноватости, благодаря термальному и механическому воздействию интрузивного силла. Чаще всего поглощения приурочены к кровле силла (залегающего обычно в кровле, реже в середине и подошве осинского горизонта, либо на  $20-30$  м выше него). Интенсивность поглощений от  $5$  до  $60$  м<sup>3</sup>/ч, но примерно в  $50$  % случаев фиксируются поглощения более  $100$  м<sup>3</sup>/ч и полный уход промывочной жидкости.

Судя по имеющимся данным, улучшенные коллекторские свойства прикровельной части осинского горизонта характеризуются относительно хорошей выдержанностью на всей рассматриваемой территории.

В отложениях осинского горизонта керн отобран по 9 скважинам исследуемой площади, по 6 скважинам проведены лабораторные анализы фильтрационно-емкостных свойств. Интервалы и диапазон отбора керна в скважинах различны. В скважинах Мдр-156, Юр-1, Юр-2 и Юр-5 хорошо охарактеризован пласт-коллектор в кровельной части осинского горизонта (для удобства названный Ос-1), коллекторские свойства которого лучше. В скважинах Вд-1 и Мн-1 отобран и проанализирован керн из средней части осинских отложений, где также выделяется пласт с хорошими коллекторскими свойствами (названный Ос-2).

По результатам исследований оба пласта обладают удовлетворительными коллекторскими свойствами, имеющими близкие характеристики во всех скважинах. Более низкие значения пористости в отдельных скважинах объясняются существенным увеличением в них степени ангидритизации.

Таким образом, в пределах Юрубчено-Тохомского НГКМ на приемлемых глубинах могут быть обнаружены горизонты, по своим фильтрационно-ёмкостным характеристикам, приуроченности к зонам затрудненного и весьма затрудненного водообмена, составу вод, защищенности от возможных восходящих перетоков, пригодные для захоронения подтоварных и сточных вод. Главными объектами их поиска и разведки, исходя из выполненного гидрогеологического анализа, должны стать карстово-порово-трещинные высокопроницаемые отложения ангарско-литвинцевской толщи и сильнотрещиноватые доломитизированные известняки осинского горизонта. Самостоятельное значение в качестве приемника жидких стоков могут иметь горизонты, залегающие между ними.

Работа выполнена при поддержке РФФИ и Минпромнауки РФ (гранты 07-05-00877, 08-05-99026, НШ-9542.2006.5).

#### Литература

1. Гидрогеологические исследования для обоснования подземного захоронения промышленных стоков / Под ред. В.А. Грабовникова. – М.: Недра, 1993. – 335 с.
2. Brower R.D. Evaluation of underground injection of industrial waste in Illinois. // Groundwater monitoring review, 1990, N 3. – p. 89-93.

### **ПРОГНОЗ СЕЙСМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ТЕРРИТОРИИ СТРОИТЕЛЬСТВА АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ В ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ**

**А.И. Шевкунов**

Научный руководитель доцент Т.Я. Емельянова  
*Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

В Томской области на территории ЗАТО «Северск» планируется построить атомную электростанцию. Она является уникальным сооружением, относящемуся к первому классу по ответственности, поэтому необходимо особо качественно оценить инженерно-геологические условия строительства.

Кафедрой ГИГЭ (гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии) ТПУ исследована территория возможного строительства этой электростанции для выбора участка ее размещения. Исследуемая территория располагается севернее города Северска на склоне Томь–Чулымского водораздела и второй надпойменной террасе реки Томи.

Сейсмические условия – один из важных и опасных факторов, так как они определяют устойчивость сооружения. Площадь строительства, согласно сейсмическому районированию территории, для которой геологические условия были приняты как среднегрунтовые. Они относятся к типу в пределах которого существует вероятность 7 балльного землетрясения раз в 50 лет и 6 балльного землетрясения 5 и 10 раз в 50 лет [2]. Территория с интенсивностью в 6 баллов не требует антисейсмической защиты, а при 7 баллах требуются защитные мероприятия. Исходя из возможности проявления землетрясения в 6–7 баллов, рекомендуется уточнять сейсмичность территории, создавая карту инженерно-геологического сейсмического микрорайонирования.

Главная задача инженерно-геологических исследований при сейсмическом микрорайонировании и прогнозе сейсмических условий заключается в установлении всех геологических особенностей, которые могут оказывать влияние на приращение сейсмической интенсивности ( $\Delta J$ ), с последующим их анализом и комплексной оценкой. Величина сейсмического приращения может составить  $\pm 2$  балла.

Величина разрушений зависит от многих факторов, в том числе и от инженерно-геологических. В настоящие время в инженерной-геологии уже сформулированы рекомендации, как могут влиять факторы инженерно-геологических условий на изменение возможной балльности землетрясения. Более устойчивы к землетрясению скальные монолитные породы, менее устойчивы пылеватые обводненные грунты. Физико-механические свойства грунтов, их состав и состояние могут оказать влияние на величину сейсмического приращения. Например, на основе большого фактического материала, А.Н. Вахтановой была получена зависимость приращения сейсмической интенсивности от коэффициента пористости пород [1], повышение которого может увеличить предполагаемую сейсмичность на 0,5 баллов. Глубина залегания грунтовых вод меньше 6 метров может увеличить возможную интенсивность в среднем на 0,5–1 балл. Расчлененность рельефа, крутизна склонов, активная тектоническая обстановка, современные геологические процессы и явления повышают вероятную сейсмичность территории.

Уточнение средней возможности балльности землетрясений за счет характера пород и их обводненности рекомендуется выполнять согласно СНиП–П–7–81 [2].

Многочислен выполнен анализ факторов ИГУ с помощью карты-схемы инженерно-геологических условий разреза, результатов наземных маршрутов, пройденных сотрудниками кафедры ГИГЭ, данных бурения и лабораторных анализов грунтов.

Грунты представлены четвертичными песчано-суглинистыми отложениями и могут быть отнесены ко II категории по сейсмическим свойствам [2]. Стратиграфо-генетические комплексы, их физические свойства и глубина залегания грунтовых вод показаны в табл.

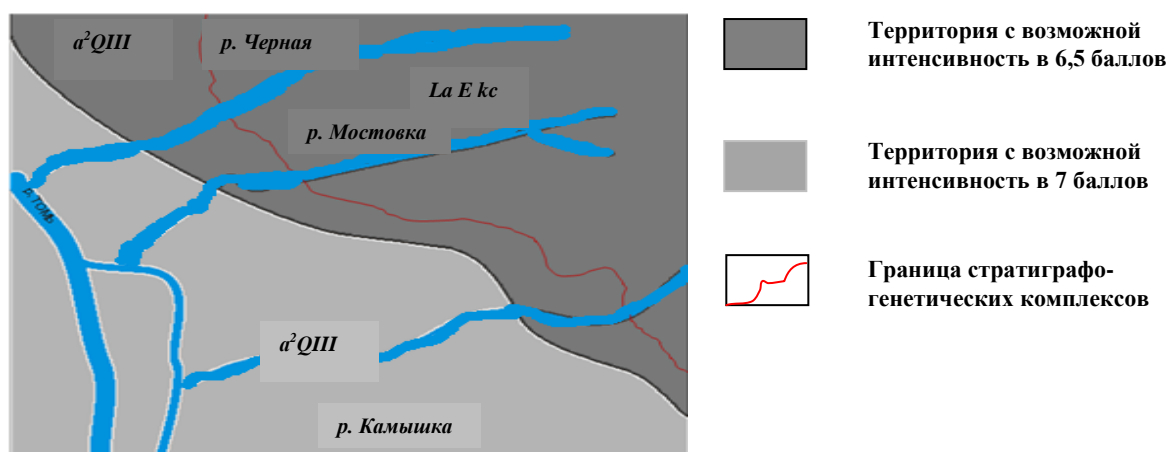
Обводненность пород в пределах изучаемой территории связана с развитием грунтовых вод первого от поверхности водоносного горизонта. Водовмещающие породы представлены песками, суглинками.

В пределах территории можно выделить вторую надпойменную террасу реки Томи и водораздельные равнины рек Черная, Мостовка, Камышка. Абсолютные отметки изменяются в пределах 100–150 м. Рельеф слаборасчленен. В пределах данной площади развиты болота и овраги, опасных экзогенных процессов нет.

Таблица

Сводная таблица физико-механических свойств грунтов

Стратиграфо-генетический комплекс	Мощность отложений, м	Литологическая характеристика отложений	Физико-механические свойства			Уровень залегания грунтовых вод, м
			$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	$W_{\text{ест.}}$ , %	$e$ , де	
Федосовская свита (la I-II fd)	15,8	Суглинки, глины	1,95	0,286	0,69	34,7
Кочковская свита (la E kc)	15,5	Суглинки, пески с линзами глин	1,99-2,01	0,263	0,72	5-15
Дочетвертичные отложения (N- P <sub>3</sub> )	20	Чередование суглинка с прослоями и линзами песков,	1,88	0,164-0,333	0,69	
Вторая надпойменная терраса реки Томи (a <sup>2</sup> QIII)	10-12	Переслаивание суглинков, супесей, песков мелких	1,78-1,92	0,103-0,216	0,56-0,62	В скв. 4/3 меньше 5 В скв. 2/3; 3/3; 4-В изменяется от 5 до 15
Сузгунская толща (la II sz)	12	Песками мелкими с редкими прослоями и линзами суглинка и супеси	2,05	0,136-0,21	0,39	
Тобольский горизонт (a QII tb)	14	Пески мелкие, гравелистый с включениями гравия и прослоями суглинка и супеси	1,92	0,212-0,313	0,6-0,8	



Составил Шевкунов А.И., 2009 г.

Рис. Карта-схема сейсмического микрорайонирования (10% вероятности)

Сейсмическое микрорайонирование выполнено на основе карт ОСР-97–А,Б,С, а также карты схемы инженерно-геологических условий.

Величина сейсмического приращения определена по формуле:

$$\Delta J = \Delta J_{\text{породы}} \pm \Delta J_{\text{подземные воды}} \pm \Delta J_{\text{рельефа}} \pm \Delta J_{\text{тектоники}} \pm \Delta J_{\text{экзогенных процессов}}$$

В пределах площади на основании таблицы 1 и СНиП[2] были выделены участки с возможной сейсмичностью в 7,5 и 8 баллов. Вторая надпойменная терраса реки Томи с уровнем грунтовых вод меньше 5 метров отнесена к территории с возможной сейсмической интенсивностью в 8 баллов в силу близкого залегания уровня грунтовых вод и высоких коэффициентов пористости пород. Величина сейсмического приращения будет равна:

$$\Delta J = 0,5 + 0,5 + 0 + 0 = 1.$$

Для восточного и северо-восточного участков территории глубина залегания уровня грунтовых вод от 5 до 15 метров. Породы разреза относятся ко II категории по сейсмичности. Ухудшить сейсмическую устойчивость пород здесь могут повышенные значения их коэффициентов пористости.

$$\Delta J = 0,5 + 0 + 0 + 0 = 0,5.$$

Выделены 2 участка: с возможной интенсивностью землетрясения в 6,5 баллов на второй надпойменной террасе реки Томи ( $\Delta J = 0,5 + 0 + 0 + 0 = 0,5$ ) и с возможной интенсивностью в 7 баллов в восточном и северо-восточном районах ( $\Delta J = 0,5 + 0,5 + 0 + 0 = 1$ ).

В результате в пределах территории можно наметить 2 участка с возможным изменением сейсмичности. На рис. приведена схема инженерно-геологического сейсмического микрорайонирования для карты ОСР-97-А 10 % вероятности. Карты 5 % и 1 % вероятности имеют такие же границы участков; различаются они лишь по величине возможной интенсивности землетрясения.

#### Литература

1. Бондарик Г. К. Инженерная геодинамика – М.: КДУ, 2007. – 440 с.
2. СНиП 1.02.07 – 87. Инженерные изыскания для строительства // Госстрой СССР, ГУГК СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1988. – 104 с.