

Московский государственный университет
имени М.В. Ломоносова

Геологический факультет



НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

***ЛОМОНОСОВСКИЕ
ЧТЕНИЯ***

СЕКЦИЯ ГЕОЛОГИИ

***Подсекция
гидрогеологии***

Руководитель – зав. кафедрой Поздняков С.П.

СБОРНИК
ТЕЗИСОВ ДОКЛАДОВ

Москва
2020

Содержание:

1. Формирование инфильтрационного питания подземных вод в условиях меняющегося климата С.О. Гриневский, Е.А. Дедюлина, С.П. Поздняков	2
2. Гидрогеодинамическая модель месторождения азотных термальных вод Кульдур Л.А. Лямина, А.В. Расторгуев, Р.С. Штенгелов, Н.А. Харитонова	7
3. Экспериментальное изучение состава поровых вод баженовской свиты центральной и южной частей Нижневартовского свода Западной Сибири Е.С. Казак, Я.В. Сорокоумова, А.С. Семанова	10
4. Определение величин давления набухания и коэффициентов фильтрации бентонита для объектов окончательной изоляции радиоактивных отходов В.А. Лехов, С.М. Кузьмич, В.В. Крупская	12

ФОРМИРОВАНИЕ ИНФИЛЬТРАЦИОННОГО ПИТАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В УСЛОВИЯХ МЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА

С.О. Гриневский, Е.А. Дедюлина, С.П. Поздняков

Основной целью проведенных исследований являлся анализ влияния наблюдаемых климатических изменений на формирование водного баланса и инфильтрационного питания подземных вод на территории Европейской части России (ЕЧР). Исследования проведены на основе многолетних рядов суточных метеорологических данных, включающих осадки, высоту снега, температуру воздуха и почвы, влажность воздуха и скорость ветра за период 1965-2018 гг, по 22-м метеостанциям, широтно расположенным с юга на север ЕЧР – от 46° до 66°.

Анализ метеорологических данных показывает статистически значимые тренды увеличения среднегодовой температуры воздуха и уменьшения скорости ветра, наблюдаемые практически по всем метеостанциям с середины 1980-х годов; при этом многолетние тренды изменения годовой суммы осадков и влажности воздуха менее очевидны. Детальный анализ наблюдаемых климатических изменений и их широтных закономерностей проведен на основе сопоставления среднемноголетних годовых и сезонных метеорологических характеристик за периоды относительно стабильного (1965-1988 гг) и меняющегося (1989-2018 гг) климата, который показал следующее (рис. 1).

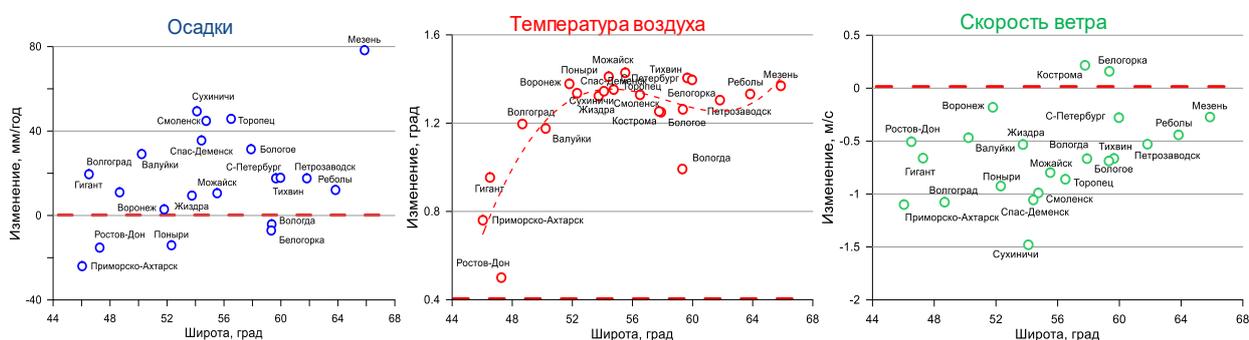


Рисунок 1. Широтные изменения среднемноголетних осадков, температуры воздуха и скорости ветра на территории ЕЧР за период 1989-2018 гг.

На всей территории ЕЧР произошло преимущественное увеличение среднемноголетней годовой суммы осадков до 50 мм/год. При этом, однако, наблюдаются значимые широтные различия их сезонных среднемноголетних изменений (± 20 мм/год): для северных территорий характерно увеличение зимних и летних осадков и уменьшение – осенних, а для южных – наоборот среднемноголетние зимние и летние осадки уменьшились, а осенние увеличились.

Среднемноголетняя годовая температура воздуха увеличилась среднем одинаково на всей территории - на 1.2-1.4°C, за исключением самых южных станций, где увеличение составило 0.5-1°C. При этом однозначно отмечается максимальное увеличение зимней температуры воздуха,

которое практически линейно изменяется в широтном направлении: от 1°C - на юге, до 3°C - на севере территории.

На всей территории ЕЧР наблюдается относительно равномерное уменьшение среднемноголетней скорости ветра как в годовых, так и в сезонных значениях, в среднем на 0,5-1 м/с, что в целом согласуется с официальными данными [1].

Исследования влияния наблюдаемых климатических изменений на инфильтрационное питание подземных вод проведены на основе моделирования процессов его формирования. Модель инфильтрационного питания состоит из 2-х блоков. В первом блоке, программе SurfBal, разработанной на кафедре гидрогеологии МГУ, моделируются процессы трансформации осадков на поверхности земли, включая их перехват растительностью и испарение с нее, образование поверхностного стока и впитывания влаги в почву с учетом накопления и таяния снега, а также промерзания-оттаивания почвы [4, 5, 6]. Полученные в результате моделирования суточные величины впитывания влаги и потенциальной эвапотранспирации, характеризующей теплоэнергетический потенциал поверхности, определяют условие на верхней границе второго модельного блока, в котором моделируется одномерный нестационарный влагоперенос в зоне аэрации с учетом испарения и отбора влаги корнями растений на основе программы HYDRUS-1D [7]. При этом расчетные значения потока влаги на нижней границе модели влагопереноса, которой является уровень грунтовых вод, характеризуют инфильтрационное питание. Моделирование проведено на основе суточных рядов метеорологических характеристик за период 1965-2018 гг. для четырех типов ландшафта поверхности, представленных сочетанием древесной или травянистой растительности на песчаной или суглинистой почве, при их характерных параметрах [2, 3]

По результатам двух этапов моделирования рассчитывается суточный, годовой и среднемноголетний водный баланс на поверхности земли и в зоне аэрации, который сопоставляется для периодов относительно стабильного (1965-1988 гг) и современного меняющегося (1989-2018 гг) климата. Это позволяет оценить, как наблюдаемые климатические изменения осадков ΔO и других метеорологических характеристик (рис. 1) трансформировались в изменения среднемноголетнего водного баланса:

$$\Delta O = \Delta ETR + \Delta S + \Delta W \pm \Delta V,$$

где ETR – суммарная эвапотранспирация, S – поверхностный сток, W – инфильтрационное питание, V – влагозапасы зоны аэрации, а Δ – их среднемноголетнее изменение.

Результаты моделирования показали следующие основные изменения среднемноголетнего водного баланса.

1. В современный период (1989-2018 гг) на юге территории ЕЧР произошло уменьшение поверхностного стока, а на севере – его увеличение в диапазоне ± 20 мм/год. При

этом во всем регионе отмечается существенная трансформация внутригодового гидрографа поверхностного стока – уменьшение пика половодья и увеличение зимнего стока в периоды оттепелей – рис. 2. Основной причиной таких трансформаций является наблюдаемое увеличение зимней температуры воздуха и связанные с ней сокращения высоты снежного покрова глубины промерзания почвы, что подтверждается результатами корреляционного анализа расчетных изменений зимне-весеннего стока и фактических изменений этих характеристик.

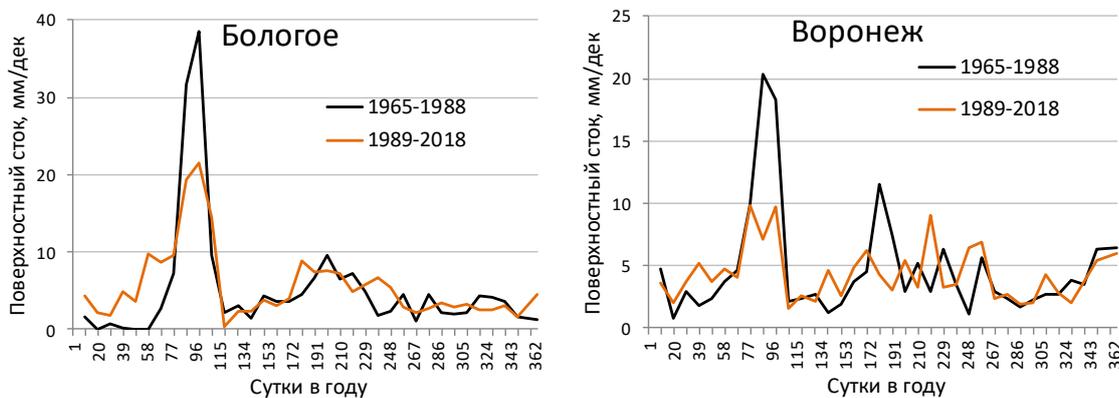


Рисунок 2. Сопоставление расчетных среднееголетних гидрографов поверхностного стока за предшествующий и современный периоды на примере метеоусловий станций Бологое (север) и Воронеж (юг)

2. Несмотря на значительный рост среднееголетней температуры воздуха на всей территории ЕЧР (рис. 1), результаты моделирования показали неоднозначные изменения суммарной эвапотранспирации – ее преимущественное увеличение на юге и севере до +30 мм/год и уменьшение в центральной части региона до -20 мм/год. Результаты корреляционного анализа показали, что такие незакономерные вариации суммарной эвапотранспирации связаны с разнонаправленным влиянием климатических изменений на физическое испарение и транспирацию. С одной стороны, по результатам моделирования получено преимущественное увеличение транспирации, которое наилучшим образом коррелирует с ростом осадков. С другой стороны, расчетное среднееголетнее испарение преимущественно сократилось (особенно в центре ЕЧР), и его сокращение коррелируется с уменьшением скорости ветра, которое в этом случае оказывается более значимым фактором влияния, чем рост температуры воздуха.

3. Разнонаправленные климатические преобразования водного баланса на поверхности земли и в зоне аэрации привели к увеличению среднееголетнего инфильтрационного питания в центральных и северных регионах ЕЧР до 50-60 мм/год, в то время как на юге территории оно практически не изменилось - рис. 3.

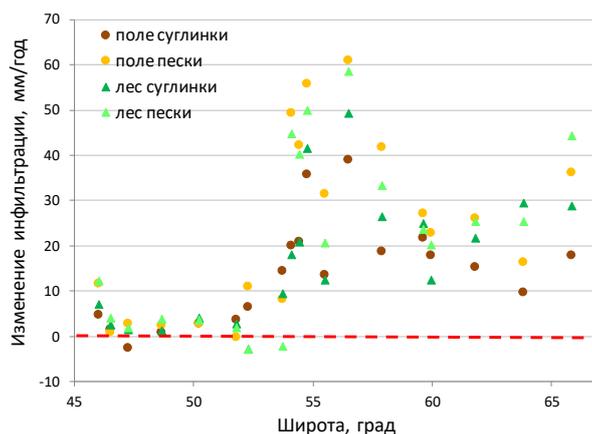


Рисунок 3. Широтное изменение среднемноголетнего инфильтрационного питания на разных ландшафтах ЕЧР в современный период

При этом наиболее высокая корреляция изменения среднемноголетней инфильтрации наблюдается с увеличением осадков в холодный период и сокращением глубины сезонного промерзания – рис. 4.

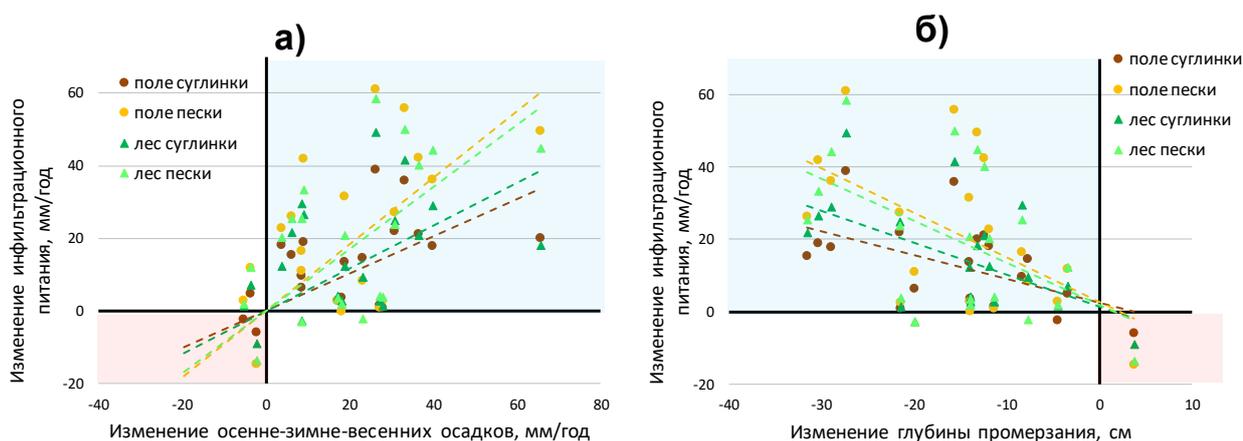


Рисунок 4. Связь изменения среднемноголетнего инфильтрационного питания а) с ростом осадков в холодный период; б) с уменьшением глубины промерзания

Основные выводы.

Несмотря на повсеместное увеличение температуры воздуха в современный период, среднемноголетнее инфильтрационное питание на юге ЕЧР не изменилось, а на севере и в центре даже возросло до 50-60 мм/год (на 30-40% для некоторых ландшафтов).

Увеличение среднемноголетнего инфильтрационного питания вызвано:

- относительно небольшим изменением суммарной эвапотранспирации, поскольку увеличение температуры воздуха существенно «компенсируется» снижением скорости ветра;

- увеличением «зимнего» питания в период отсутствия эвапотранспирации, вызванного существенным ростом зимних температур и осадков и уменьшением глубины сезонного промерзания.

Проведенный анализ влияния наблюдаемого изменения климата на формирование водного баланса и инфильтрационного питания подземных вод является основой для более адекватного прогнозирования этих процессов.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (проект № 16-17-10187).

Литература

1. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. М. Росгидромет. 2014. 58 с.
2. Гриневский С.О. Схематизация строения и параметров зоны аэрации для моделирования инфильтрационного питания подземных вод // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2010. №6. С. 56-67.
3. Гриневский С.О. Моделирование поглощения влаги корнями растений при расчетах влагопереноса в зоне аэрации и инфильтрационного питания подземных вод // Вестн. Моск. ун-та, сер. 4. Геология. 2011. №3, с 41-52.
4. Гриневский С. О., Поздняков С. П. Принципы региональной оценки инфильтрационного питания подземных вод на основе геогидрологических моделей // Водные ресурсы. 2010. Т. 37, № 5, с. 543–557.
5. Поздняков С.П., Гриневский С.О., Дедюлина Е.А. Влияние климатических изменений на многолетнюю динамику сезонного промерзания в Московском регионе: ретроспективный анализ и неопределенности прогноза на вторую половину XXI века // Криосфера Земли. 2019. т. XXIII, № 4, с. 26–35.
6. Pozdniakov S. P., Vasilevskiy P. Y., Grinevskiy S. O. Estimation of groundwater recharge by flow in vadose zone simulation at the watershed with different landscapes and soil profiles // Engineering geology and Hydrogeology. Bulgarian academy of Sciences. ISSN 0204-7934. 2015. №. 29, p. 47–58.
7. Šimůnek J., Šejna M., Saito H. et al. The HYDRUS-1D software package for simulating the one-dimensional movement of water, heat and multiple solutes in variably-saturated media. Ver. 4.08. // Prepr. Depart. of Environ. Sci. University of California Riverside. California, Riverside, 2009. 296 p.

ГИДРОГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МЕСТОРОЖДЕНИЯ АЗОТНЫХ ТЕРМАЛЬНЫХ ВОД КУЛЬДУР

Л.А. Лямина, А.В. Расторгуев, Р.С. Штенгелов, Н.А. Харитонова

Выходы термальных вод представляют собой поверхностные проявления глубоких систем циркуляции подземных вод. Имея представление о пространственной структуре потока в зонах разлома, его интенсивности, характере циркуляции подземных вод в кристаллическом массиве, возможно принятие правильных решений при разработке и/или охране термальных водных ресурсов, так как в последнее время значительно возрос интерес к эксплуатации «зеленой энергии». Целью настоящей работы является построение двухмерной численной модели фильтрации и тепломассопереноса флюида из глубоких горизонтов земной коры к поверхности по вертикальному разрывному нарушению. Численное решение задачи было выполнено на основе программного кода FEFLOW, в основе которого лежит метод конечных элементов (МКЭ).

Область исследования располагается на территории поселка Кульдур Облученского района Еврейской автономной области в 100 км от города Биробиджан и на высоте 365 м над уровнем моря с географическими координатами - 49°15' с.ш. и 131°31' в.д.

Термальные воды месторождения Кульдур связаны с крупной зоной тектонического дробления в гранитном массиве ($\gamma\delta_2C_2$ -zt). Кульдурское месторождение приурочено к зоне Меридионального разлома на участке пересечения оперяющего его нарушения северо-восточного направления, круто ($70-85^\circ$) падающего на восток (Lyamina et al, 2020). Естественные выходы азотных терм наблюдаются на Термальной площадке, размером 150x150 м, а также вдоль долины реки Кульдур, где термальные воды выходят в различных местах из-под аллювия в виде небольших ключей. Питание азотных термальных вод происходит, в основном, за счет инфильтрации атмосферных осадков.

На Термальной площадке месторождения функционируют с 1987 года две эксплуатационные скважины 1-87 и 2-87 расположенные непосредственно в водоподводящей зоне разлома и имеющие самые высокие температуры ($71-72^\circ C$), а также наибольший дебит (9.67 л/с), что позволяет выделить эту часть термального поля как центральную зону. Наибольшие напоры в районе скважин 1-87 и 2-87 свидетельствуют о том, что эти скважины перехватывают основной поток терм, восходящий по зоне тектонического разлома. Вода из этих скважин используется и для лечения и для теплофикации помещений санатория. Скважины 3-87, 3-51 и 5-51 используются для режимных наблюдений, водоотбор из них не производится.

Численное решение задачи было выполнено на основе программного кода Feflow (Diersch Н. J. G, 2014), в основе которого лежит метод конечных элементов (МКЭ). Неортогональная

разбивка сетки позволяет более подробно учесть зону разрывного нарушения, русло реки Кульдур, являющееся дренажом для термальных вод.

Из-за недостаточной изученности и сложности геологического строения района двухмерная профильная модель подразделялась на три зоны: а) зона термовыводящего канала, приуроченная к разрывному нарушению; б) зона повышенной терциноватости и в) зона монолитных скальных пород. Каждая из зон в данной постановке задачи принимается однородной (Hiscock K., 2005).

На верхней границе модели задается инфильтрационное питание (ГУ 2-го рода). Нижняя граница модели проведена на глубине -3000 м (мощность модели 4000 м), что соответствует максимальной глубине формирования термальных вод. Нижняя и боковые границы непроницаемы. В ходе усовершенствования модели будет задаваться тепловой поток 0.065 Вт/м^2 для расчета тепло-массопереноса в моделируемой области.

В ходе проведения расчетов удалось установить, что структура потока термальных вод в значительной мере контролируется питанием на водоразделах и разгрузкой в реку. При увеличении коэффициента фильтрации разломной зоны от 1 м/сут до 5 м/сут в разломной зоне увеличивается скорость потока и к зоне разгрузки происходит миграция более древних термальных вод. Полученные данные (12 тыс.-14 тыс. лет) моделирования достаточно хорошо соотносятся с результатами определения периода водообмена по изотопам углерода (1273 ± 20 лет) и гелия (18 тыс. лет).

При уменьшении коэффициента фильтрации зоны монолитных скальных пород на один порядок (до 0,035 м/сут) отмечается заметное уменьшение скорости потока, что сказывается на максимальном времени нахождения флюида в системе «вода-порода», которое в данном случае достигает 40 тыс. лет (по сравнению с первоначальными 12 тыс. лет).

Добавляя на нижней границе тепловой поток с нормальным геотермическим градиентом ($\sim 27 \text{ }^\circ\text{C/км}$), получаем увеличение скорости потока термальных вод с максимальным временем взаимодействия системы «вода-порода» 7.7 тыс. лет. Таким образом получается, что движение термальных вод на месторождение Кульдур обусловлено двумя противоположными процессами: нисходящей гравитационной фильтрацией холодных метеорных вод и восходящего «всплывания» нагретых в недрах вод глубоких частей разреза. В результате создается конвективная ячейка циркуляции подземных вод.

Литература

1. Diersch H. J. G. (2014) FEFLOW. Finite Element Modeling of Flow, Mass and Heat Transport in Porous and Fractured Media// Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 996 p

2. Hiscock K. (2005) Hydrogeology principles and practice. Malden, Oxford, Carlton, Blackwell Publishing, 389 p

3. Lyamina L.A., Kharitonova N.A., Karabtsov A.A. (2020) Chemical and mineralogical composition of water-bearing materials of the Kuldur Geothermal Reservoir (Jewish Autonomous Region). Journal IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, v.459, №4, p.1-7. DOI: 10.1088/1755-1315/459/4/042038

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ СОСТАВА ПОРОВЫХ ВОД БАЖЕНОВСКОЙ СВИТЫ ЦЕНТРАЛЬНОЙ И ЮЖНОЙ ЧАСТЕЙ НИЖНЕВАРТОВСКОГО СВОДА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Е.С. Казак, Я.В. Сорокоумова, А.С. Семанова

В мировой практике определение состава и минерализации поровой воды сланцевых пород стараются выполнять путём прямого анализа непосредственно выделенного порового раствора, при невозможности его прямого выделения используют методы увлажнённых паст или метод водной вытяжки (API, 1998). В рамках настоящих исследований оценка состава и минерализации поровой воды слабопроницаемых нефтематеринских отложений баженовской свиты центральной и южных частей Нижневартовского свода была выполнена как методом водной вытяжки, так и путем прямого анализа выделенного порового раствора для 40 образцов полноразмерного керна.

Водные вытяжки проводились при соотношении вода порода 2:1, время взаимодействия 10 минут. В полученных растворах водной вытяжки определение содержание хлора и гидрокарбонат-ионов выполнено объёмными методами, содержание остальных макрокомпонентов – методом ионной хроматографии. Определение содержания Γ выполнялось методом постоянноточковой инверсионной вольтамперометрии с углеродным электродом на вольтамперометрическом анализаторе «Экотест-ВА».

Впервые для слабопроницаемых пород баженовской свиты (БС) удалось извлечь и напрямую определить минерализацию поровой воды. Для исследований была специально разработана установка, позволяющая создавать и поддерживать высокие давления нагнетания вязкого вытесняющего флюида. Количество выделенной воды было крайне маленьким (до 0,5 мл), поэтому были определены наиболее значимые параметры: изотопный анализ воды для уточнения её природы, и общая минерализация с определением макрокомпонентного состава.

Согласно изотопному анализу в ходе фильтрационного эксперимента именно древний поровый рассол был выделен из керна БС, а не жидкость другой природы (буровой раствор и пр.). Установлено, что поровые воды БС являются преимущественно морского седиментационного происхождения, генетически связанные с нефтяными залежами Западной Сибири, характеризуются минерализацией от 1,23 до 35,98 г/л, обладают преимущественно хлоридно-натриевым составом с подчинённым содержанием Са, Mg, HCO_3^- и некоторых микроэлементов. Полученные результаты соотносятся с составом (преимущественно хлоридного натриевый) и минерализацией вод выше и ниже лежащих (неокомского и верхнеюрского) водоносных комплексов Западной Сибири - 10,84÷26,63 г/л и 2,6÷49 г/л соответственно (Казак и др., 2018; Новиков и др., 2009).

Впервые было получено содержание йода в поровой воде образцов пород БС. Измерив количество Γ в растворах водных вытяжек, а затем пересчитав полученные результаты с учётом коэффициента разбавления, мы установили, что в поровой воде содержание Γ изменяется от 2,93 до 36,11 мг/л.

Важный результат, что минерализация по методу водных вытяжек и прямому определению хорошо соотносятся, соответственно, косвенный метод водной вытяжки может быть использован как альтернативный прямому анализу для оценки минерализации по NaCl поровых вод баженовской свиты.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №1777-20120).

Литература:

1. Recommended Practices for Core Analysis, vol. 40. American Petroleum Institute (API), Dallas, TX. 1998. 220 с.
2. Казак, Е. С., Харитонов, Н. А., Казак, А. В. Минерализация и макрокомпонентный состав поровых вод пород баженовской, ачимовской и георгиевской свит (по данным водных вытяжек) // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. 2018. Т. 5
3. Новиков, Д. А., Шварцев, С. Л. Гидрогеологические условия Предъенисейской нефтегазоносной субпровинции // Геология и геофизика. 2009. Т. 50, N 10. – С. 1131-1143.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИН ДАВЛЕНИЯ НАБУХАНИЯ
И КОЭФФИЦИЕНТОВ ФИЛЬТРАЦИИ БЕНТОНИТА
ДЛЯ ОБЪЕКТОВ ОКОНЧАТЕЛЬНОЙ ИЗОЛЯЦИИ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

В.А. Лехов, С.М. Кузьмич, В.В. Крупская

В настоящее время для создания пунктов конечной изоляции радиоактивных отходов принята концепция многобарьерности, включающая в себя создание инженерного барьера на основе природных глинистых материалов вокруг контейнеров с отходами. Одним из перспективных материалов является бентонит, за счет его свойств: способность к набуханию, пластичность, низкие величины коэффициента фильтрации, низкие значения коэффициентов диффузии по отношению к предполагаемым для захоронения веществам и способность задерживать радионуклиды (Shackelford, Moore, 2013). Применение бентонита в рамках текущей концепции предполагается путем уплотнения (компактирования) в блоки при помощи прессы. Данный подход позволяет достичь более высокую плотность по отношению к засыпке и последующему уплотнению.

Экспериментальные определения давления набухания и коэффициента фильтрации выполнялись на порошке Хакасского бентонита, отобранного на месторождении 10-Хутор в контакте с дистиллированной водой при комнатной температуре. В экспериментальной установке порошок прессовался в диапазоне сухих плотностей 1450 – 1800 кг/м³ в компактированные образцы размером 3 см в диаметре и 1 см высотой. Экспериментальная ячейка представляет из себя поршень с обоймой, снабженной технологическими отверстиями и каналами. Измерение давления набухания осуществлялось путем установки тензометрического датчика между поршнем и рамой экспериментальной установки.

Определение давления набухания для образцов осуществлялось подводом жидкости к нижнему торцу образца и регистрацией сигнала с тензометрического датчика. Для последующего фильтрационного эксперимента, на нижнем торце образца при помощи плунжерного насоса задавался постоянный напор, и измерялся фильтрующийся расход жидкости раз в сутки, путем подключения бюретки к верхнему торцу образца.

Длительность экспериментов по определению давления набухания и коэффициентов фильтрации составляла не менее 7 суток. Окончание эксперимента осуществлялось по выходу наблюдаемой характеристики в стационарный режим. Полученные величины давления набухания имеют экспоненциальную связь с сухой плотностью образцов, что хорошо согласуется с экспериментальными данными полученными по бентонитам других месторождений, приведенными в опубликованной литературе (Villar, Lloret, 2008), как и определенные значения коэффициентов фильтрации (Dixon, Graham, Gray, 2011).

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда 19-17-13032.

Литература

1. Dixon D. A., Graham J., Gray M. N. Hydraulic Conductivity of Clays in Confined Tests under Low Hydraulic Gradients. *Canadian Geotechnical Journal*. 2011. 36(5), p. 815–25.
2. Shackelford C. D., Moore S. M. Fickian Diffusion of Radionuclides for Engineered Containment Barriers: Diffusion Coefficients, Porosities, And Complicating Issues. *Engineering Geology*. 2013. 152(1), p. 133–47.
3. Villar M. V., Lloret A. Influence of Dry Density and Water Content on the Swelling of a Compacted Bentonite. *Applied Clay Science*. 2008. 39(1–2), p. 38–49.