

Московский государственный университет
имени М.В. Ломоносова

Геологический факультет



НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

***ЛОМОНОСОВСКИЕ
ЧТЕНИЯ***

СЕКЦИЯ ГЕОЛОГИИ

***Подсекция
гидрогеологии***

Руководитель – зав. кафедрой, профессор Поздняков С.П.

СБОРНИК
ТЕЗИСОВ ДОКЛАДОВ

Москва
2021

Содержание:

1. Оценка влияния цифровой модели рельефа (ЦМР) на расчет эвапотранспирации в геофильтрационной модели В.Н. Самарцев	2
2. Автоматическое расчленение гидрографа с помощью алгоритма GRWAT для определения генетических составляющих речного стока М.Б. Киреева, Н.Л. Фролова, Е.П. Рец, Т.Е. Самсонов	5
3. Численная симуляция опытной откачки в слоистом водоносном горизонте в планировании изысканий и учебных занятиях М.В. Лехов	7
4. Оценка запасов дренажных подземных вод при разработке месторождений твёрдых полезных ископаемых Е.Ю. Потапова	10
5. Структура проводимости верхней части горизонтально-слоистых массивов скальных пород и влияние ее на результаты опытных откачек А.В. Лехов	13
6. Опыт изучения свободной и связанной воды ачимовской толщи северной части Западной Сибири Е.С. Казак, И.А. Родькина, Я.В. Сорокоумова, Н.В. Морозов	15
7. Диффузионные свойства глинистых барьеров, используемых для изоляции РАО В.А. Лехов, А.С. Семенкова, А.Ю. Романчук	17

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ РЕЛЬЕФА (ЦМР) НА РАСЧЕТ ЭВАПОТРАНСПИРАЦИИ В ГЕОФИЛЬТРАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

В.Н. Самарцев

Эвапотранспирационная разгрузка может составлять существенную часть баланса грунтового водоносного горизонта. Эвапотранспирация осуществляется при сравнительно небольшой глубине залегания грунтовых вод, до первых метров, и зависит от состава водовмещающих пород. Следовательно, при моделировании движения подземных вод с учетом эвапотранспирации, расчетные уровни подземных вод и водный баланс должен зависеть, в том числе, от используемой цифровой модели рельефа (ЦМР).

Основой для построения ЦМР могут являться топографические карты. Их главным недостатком является форма распространения. Зачастую топографические карты доступны только в виде растрового изображения, для использования которого требуется длительная трудоемкая оцифровка. На сегодняшний день альтернативой топографическим картам могут являться ЦМР, построенные в результате изучения поверхности Земли из космоса. Используются данные трех проектов:

- Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). Радарная съемка поверхности Земли была произведена в феврале 2000 г., в дальнейшем данные обрабатывались и дополнялись из других источников. В настоящее время доступна ЦМР, построенная с разрешением в 1 угловую секунду, покрывающая поверхность Земли от 60° с.ш. до 54° ю.ш. (<https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-digital-elevation-shuttle-radar-topography-mission-srtm-1-arc>).
- Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER). Расчет высотной отметки выполнялся на основе стереоскопической съемки. ЦМР доступна также с разрешением в 1 угловую секунду и покрывает поверхность Земли от 83° с.ш до 83° ю.ш. (<https://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp>).
- Advanced Land Observing Satellite (ALOS). Расчет высотной отметки выполнялся на основе стереоскопической съемки. ЦМР доступна с разрешением в 1 угловую секунду и полностью покрывает поверхность Земли. (<https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/aw3d30/index.htm>).

Материалы перечисленных проектов находятся в открытом доступе. ЦМР предоставляется в формате GeoTIFF и может быть легко подготовлена для использования в геофильтрационной модели. Основным недостатком этих ЦМР является очень высокая погрешность определения отметки рельефа, которая может достигать десятков метров. С наибольшими ошибками отметки рельефа определены в лесах и в городах, поскольку результатом автоматической обработки исходных данных является абсолютная отметка не

поверхности земли, а крон деревьев или крыш зданий. В современных версиях ЦМР подобные особенности различных ландшафтов по возможности учтены, однако абсолютные отметки рельефа все еще являются существенно менее точными, чем на доступных топографических картах.

Для количественной оценки влияния ошибок, используемой ЦМР, на результаты геофильтрационного моделирования выбрана уже существующая модель Судогодского месторождения подземных вод (Владимирская область, г. Судогда), построенная для программы Moflow [1]. Эта модель описана в статьях [2] и [3]. Особенностью этого объекта, определившей его выбор для постановки модельного эксперимента, является большая доля эвапотранспирационной разгрузки в общем балансе. Модель включает в себя два водоносных горизонта: грунтовый, приуроченный к четвертичным терригенным отложениям, и гжельско-ассельский, приуроченный к известнякам $C_3g - P_{1a}$. В плане модель охватывает территорию размером приблизительно 50×50 км.

В качестве приходной статьи водного баланса в этой модели учитывается только инфильтрационное питание. Суммарное питание на всю площадь модели составляет 560 тыс. $m^3/сут$. Разгрузка подземных вод осуществляется в реки, путем эвапотранспирации и частично водозаборными скважинами. Общий расход эвапотранспирации достигает 46% от всей разгрузки подземных вод. Эвапотранспирация моделируется с помощью модуля Evapotranspiration, который учитывает линейное изменение расхода, такое, что при нулевой глубине залегания грунтовых вод расход эвапотранспирации равен максимальному. При глубине залегания грунтовых вод, равной критической, расход эвапотранспирации равен нулю. Выделено семь зон с различными параметрами эвапотранспирации, критическая глубина равна 1, 3 и 5 м в зависимости от типа почв.

Моделируется два стационарных состояния – условно естественное, на 1989 г., до начала эксплуатации водозаборов на Судогодском месторождении, и на момент переоценки запасов в 2014 г. при общем дебите водозаборных скважин в размере 59 тыс. $m^3/сут$.

В качестве базового варианта в модели задан рельеф, оцифрованный с топографических карт, диапазон абсолютных отметок рельефа в пределах модели составляет 88 – 181 м. Из сравниваемых ЦМР ближе всего проект SRTM, диапазон абсолютных отметок составил 80 – 198 м. У ЦМР проекта ALOS диапазон абсолютных отметок составил 67 – 210 м. У ЦМР проекта ASTER диапазон абсолютных отметок составил 14 – 246 м. Таким образом, ошибки ЦМР относительно базовой версии существенно превышают максимальную критическую глубину, что должно резко изменить расчетный баланс модели.

Несмотря на такую существенную разницу в абсолютных отметках рельефа, отклонение расчетного расхода эвапотранспирации от базовой версии не превышает 10% (см.

таблицу). Это противоречит исходному предположению о сильном влиянии используемой ЦМР на результаты геофильтрационного моделирования. Для выявления причин такой низкой чувствительности расхода эвапотранспирационной разгрузки требуются дальнейшие исследования.

Расчетный расход разгрузки подземных вод для всей модели (в тыс. м³/сут).

Используемая ЦМР	Эвапотранспирация			Реки		
	1989 год	2014 год	ΔQ	1989 год	2014 год	ΔQ
Базовая версия	258	236	22.2	302	265	36.8
Изменения в процентах относительно базовой версии						
SRTM	246 (-5%)	228 (-3%)	18.3	315	274	40.7
ASTER	276 (+7%)	257 (+9%)	18.7	286	245	40.3
ALOS	241 (-7%)	223 (-5%)	17.5	320	278	41.5

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 21-55-53017 ГФЕН_а

Литература:

1. Harbaugh, A.W. MODFLOW-2005, the U.S. Geological Survey modular ground-water model – the Ground-Water Flow Process // U.S. Geological Survey Techniques and Methods 6-A16. – 2005.
2. Grinevskiy S. et al. Evapotranspiration capture and stream depletion due to groundwater pumping under variable boreal climate conditions: Sudogda River Basin, Russia //Hydrogeology Journal. – 2018. – Т. 26. – №. 8. – С. 2753-2767.
3. Гриневский С. О., Спорышев В. С. Особенности формирования балансовой структуры эксплуатационного отбора подземных вод и его влияния на речной сток при снижении уровней грунтовых вод //Водные ресурсы. – 2019. – Т. 46. – №. 3. – С. 247-258.

АВТОМАТИЧЕСКОЕ РАСЧЛЕНЕНИЕ ГИДРОГРАФА С ПОМОЩЬЮ АЛГОРИТМА GRWAT ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЕНЕТИЧЕСКИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ РЕЧНОГО СТОКА

М.Б. Киреева, Н.Л. Фролова, Е.П. Рец, Т.Е. Самсонов

Кафедра Гидрологии Суши Географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова

В данном исследовании проведен комплексный анализ всех основных характеристик годового, сезонного и экстремального стока на основе автоматизированного алгоритма расчленения гидрографа – GrWat*. Данная программа позволяет на основе значений суточных расходов воды, температуры воздуха и осадков проводить графо-аналитическое расчленение гидрографа. Алгоритм GrWat является аналогом расчленения гидрографа по методу Б.И.Куделина [1] в автоматическом режиме. В настоящий момент пакет опубликован на ресурсе GitHub <https://tsamsonov.github.io/grwat/>. В рамках работы алгоритма проводится выделение талой половодной, оттепельной, дождевой и подземной компоненты стока за каждый день. Метеорологическая информация используется для идентификации пиков на гидрографе, поэтому в алгоритме могут быть использованы как данные метеорологических станций, так и осредненные данные реанализа. В алгоритм встроен блок, который позволяет получать виртуальный осредненный ряд температуры и осадков по водосбору изучаемой реки. Для работы алгоритма необходимо проводить калибровку 23 параметров. Эти параметры можно разделить на 4 группы – градиенты, критические продолжительности, критические даты, критические метеорологические величины. Большинство параметров относительно универсальны и не требует существенной калибровки, 5 основных параметров – градиенты расходов на начало половодья, продолжительности основной волны половодья, градиенты в периоды возникновения паводков, соотношение водности зимней и летней межени поддаются районированию, их значения приводятся в виде диапазонов и в дальнейшем будут картированы. Особенностью работы алгоритма является выделение паводочных пиков в период половодья по методу наложения кривых спада, которые также рассчитываются в рамках программы. В предложенной схеме расчленения речной гидрограф прежде всего разделяется на базисный и быстрый сток (base flow и quick flow). Базисный сток определяется как часть речного стока, которая дренируется из подземных горизонтов бассейна и других источников с отложенным добеганием [2]. Сток воды принимается на 100% базисным в i -ый день, если удовлетворяется следующее условие:

$$\begin{cases} \left| \frac{Q_i - Q_{i+1}}{Q_i} \right| \cdot 100\% \leq grad \\ \left| \frac{Q_i - Q_{grlast}}{Q_{i-n}} \right| \cdot 100\% \leq grad \\ \left| \frac{Q_i - Q_{gr1}}{Q_{gr1}} \right| \cdot 100\% \leq kdQ_{gr1} \end{cases}$$

где Q_i – полный речной сток в i -ый день, Q_{i+1} – полный речной сток в $i+1$ -ый день, Q_{grlast} – полный речной сток в ближайший предыдущий день, в который согласно данным условиям сток на 100% состоял из базисного, Q_{gr1} – полный речной сток в первый в данном календарном году день, в который согласно данным условиям сток на 100% состоял из базисного, n – число дней между i -м днем и датой Q_{grlast} , $grad$ – калибровочный параметр – критический градиент суточного изменения расхода воды который отражает динамику разгрузки базисной компоненты, выраженный в процентах от расхода воды в i -ый день. Этот параметр может быть назначен отдельно для периода половодья и межени, kdQ_{gr1} – калибровочный параметр – максимальное возможное превышение расхода воды базисной составляющей над расходом воды базисной составляющей до начала половодья.

В результате работы программы были получены графические и статистические отчеты в формате **.html**, отражающие изменения 53 параметров стока для 90 рек Европейской территории России. Исследования выявили не только статистически достоверные изменения характеристик, но и взаимную связь этих изменений между собой. Так, например, на реках Центрального и Центрально-Черноземного региона наблюдается статистически достоверное увеличение характерных расходов как зимней, так и летней межени, достигающее 100% и более. Одновременно объем весеннего половодья и максимальные расходы уменьшаются на 20-40 %. При этом достоверного роста объемов и расходов паводочного стока не выявлено. В восточной части Европейской России в бассейне Камы тенденции роста минимальных расходов выражены слабее, и проявляются в большей степени зимой. Здесь же фиксируется закономерное увеличение числа паводков и объема паводочного стока. На Северо-Западе Европейской России наблюдаются разнонаправленные изменения – расходы зимней межени растут, а летней – в большей степени снижаются. До 60° с.ш. широты преобладают тенденции уменьшения максимумов половодья – далее на север изменения меняют знак и наблюдается слабо выраженный рост. Особенности трансформации водного режима рек Русского Севера заключаются в снижении водности летнего периода, слабо выраженном росте стока зимнего и увеличением максимальных расходов половодья на 5 – 20 %. Также наблюдается слабо выраженный рост объемов паводочного стока.

*Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 19-77-10032, 21-47-00008.

Литература:

- 1) Куделин Б.И. Принципы региональной оценки естественных ресурсов подземных вод. М.: Издательство Московского университета, 1966 г. 345 с.
- 2) Hall F.R. Base flow recessions--a review. Water Resour. Res., 1968. 4(5): 973-983.

ЧИСЛЕННАЯ СИМУЛЯЦИЯ ОПЫТНОЙ ОТКАЧКИ В СЛОИСТОМ ВОДОНОСНОМ ГОРИЗОНТЕ В ПЛАНИРОВАНИИ ИЗЫСКАНИЙ И УЧЕБНЫХ ЗАНЯТИЯХ

М.В. Лехов

Опытно-фильтрационные работы (ОФР) - один из наиболее дорогих видов исследований в инженерных изысканиях. Это сложный в проведении и интерпретации эксперимент, который должен предваряться индивидуальным планированием, учитывающим строение, особенности водоносного горизонта или гидрогеологического массива, анализ условий залегания потоков подземных вод, наличие водоемов и множество других факторов.

Рассматривать особенности постановки и проведения ОФР, предвидеть факторы, не изученные предыдущими исследованиями, представляется всегда актуальным по отношению к кустовым опытам. Именно они могут (при определенных и не всегда выполнимых условиях) обеспечить относительно обоснованные фильтрационные параметры. Одиночные опыты теоретически могут дать проводимость пласта или опытного интервала разреза. Однако даже в случае простой фильтрационной схемы нет уверенности в достоверности результатов, однозначность полученного результата доказать удается редко. На опытный график оказывают влияние не менее десятка параметров, тогда как измерения производятся в одной точке (интервале фильтра).

Не отрицая возможности применения одиночных откачек и наливов, их все же следует рассматривать как вспомогательный метод, который сопутствует кустовому опробованию, которое может обеспечить недостающие параметры - коэффициенты пьезопроводности, уровнеспроводности, параметр перетекания, коэффициент перетока, примерная характеристика сопротивления фильтра. На одиночные опыты могут быть возложены функции изучения неоднородности, пробной откачки. Говорить о параметрах полученных одиночными откачками как ориентировочных ошибочно. Это следует из понимания непознанных особенностей фильтрационного строения и их влияния на расчетные зависимости. Заниженные, как правило, характеристики ориентировочными не являются. Погрешности их определения имеют не случайный, а систематический характер.

Назначение ОФР в изысканиях под строительство – обеспечить прогнозные исследования необходимыми геофильтрационными параметрами. В первую очередь, это проводимость первого от поверхности водоносного горизонта. Определение коэффициента фильтрации имеет в известной степени символический характер. Его получают делением проводимости на мощность, что может служить не более чем классификационным показателем или средством сравнительных оценок. Использование таких значений,

например, в проекте водопонижения может обернуться не только финансовыми потерями, но и привести к опасным последствиям. Определение действительных коэффициентов фильтрации слоев, слагающих водоносный горизонт, или зон трещиноватого массива - задача весьма неординарная, а ее решение редко может быть названо однозначным. Они требуют кустовых откачек с ярусными расположениями фильтров наблюдательных скважин и интерпретации на численной модели.

Желательными в определениях, но редко достижимыми в сложившейся практике параметрами являются коэффициенты перетока через водоупор и покровную толщу, а также, для безнапорного потока, гравитационная емкость. Но их определения требуют затрат и времени на бурение наблюдательных скважин и обеспечения длительной работы водоподъемного оборудования для того, чтобы проявились характерные периоды режима откачки. Мало оптимистичными оказываются намерения определения сопротивления ложа водоемов, хотя этот параметр в обязательном порядке участвует в расчетах, оказывая влияние на решение и обратно, и прогнозной задачи. Такая задача требует специальных исследований и устройства кустов с лучами наблюдательных скважин, водопостами, створами режимных наблюдений.

Численное моделирование, симуляция системы «пласт–скважина» является средством планирования опытных работ и верификации параметров по опытным данным. Реакция пласта в реальных условиях отличается от канонического типа. Сложности отыскания решения в первую очередь связаны со специфическими граничными условиями на скважине, а в безнапорном потоке – и на свободной поверхности как на подвижной, заранее неизвестной, границе. Диагностику и выбор той или иной расчетной схемы осложняет наложение одной на другую. Например, одновременное проявление перетекания через подошву пласта и «перетекания» со свободной поверхности в безнапорном анизотропном или двухслойном, субнапорном пласте. В неоднородном пласте аналитическое решение уравнения профильной фильтрации, за исключением частных случаев, невозможно. И численное моделирование может оказаться единственным инструментом анализа.

Для планирования опытных работ и интерпретации данных в условиях сложной подземной гидравлики разработана численная модель упругой фильтрации в окрестности скважины. В ее основе лежит решение уравнения осесимметричного потока МКЭ в разрезе в цилиндрических координатах. Реализация граничных условий соответствует реальным условиям. Учитывается изменение мощности потока и кривизна свободной поверхности, ее кинематика описывается с использованием обобщенного параметра гравитационной емкости. На скважине воспроизводится схема «реального стока» Маскета – постоянный по

длине фильтра напор, а не переменный по вертикали, как в аналитических решениях. Учитывается осушение скважины и высачивание на стенке фильтра.

Конечноэлементная регулярная сетка генерируется автоматически. Цилиндрические блоки состоят из двух конечных элементов конической формы. По направлению радиальной координаты сетка имеет равномерный логарифмический шаг. По вертикали шаг сетки адаптируется к границам слоев и интервалу расположения фильтра несовершенной скважины. Итерационный процесс для учета нелинейных граничных условий обеспечивает поиск и плавное перемещение свободной границы, образуемой гранями конечных элементов. Разработаны приемы автоматической трансформации сетки при понижении и повышении свободной поверхности, подбор положения узлов на уровне воды в скважине и в верхней точке участка высачивания.

Модель реализована в виде программы 1WELL. Задание параметров пласта и скважин производится в одном окне и обеспечено контролем полноты и корректности данных. Все управляющие элементы интерфейса снабжены краткими подсказками. Программа-симулятор откачки или налива обеспечивает решение и вывод таблиц и графиков напоров и расходов, получаемых в процессе опыта, для которого вводятся параметры неоднородного пласта и характеристики скважин. Возможен сравнительный анализ влияния параметров пласта, их неоднородности и анизотропии, кольматации, инфильтрации, перетекания, изменения дебита на ход откачки (налива). Программа предназначена для разных опытов – откачек и наливов, с заданным или переменным дебитом, с фиксированным напором, с ограничением изменения уровня воды в скважине. Предусмотрено моделирование кратковременных, экспресс опытов, откачек и наливов через дно колодца или дно скважины большого диаметра.

Понимание необходимости планирования ОФР в последнее время уже можно найти в среде изыскателей – инженер-геологов. Навыки симуляции для выбора технических характеристик и оборудования приобрести не трудно, однако все же требуют участия дипломированного специалиста с гидрогеологическим образованием. Поэтому на учебных занятиях по инженерной гидрогеологии автору представляется весьма важным уделять внимание теме «Планирование оптимальных характеристик и конструкции скважин для производства опытной откачки», рассматривая осложненные условия, с которыми изыскания сталкиваются на практике, в режиме симуляции проведения опыта (включая восстановление) и симуляции применения штатных приемов обработки получаемых данных.

ОЦЕНКА ЗАПАСОВ ДРЕНАЖНЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЁРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Е.Ю. Потапова

Запасы дренажных подземных вод должны:

- соответствовать величине минимального среднемесячного водопритока или его среднему значению за заданный расчетный период (если режим водопотребления соответствует режиму водопритока или проектируется накопительное водохранилище);
- не следует отождествлять с величиной водопритока, рассчитанного для выбора системы осушения и насосного оборудования, так как инженерный запас, принимаемый при расчетах водопритоков, может привести к существенному завышению эксплуатационных запасов дренажных вод;
- оцениваются с учетом взаимодействия дренажных систем оцениваемого месторождения с другими дренажными системами, а также с действующими и проектируемыми водозаборами на месторождениях подземных вод. При этом должен быть выполнен прогноз влияния планируемого отбора на существующие водозаборные сооружения и разработаны рекомендации по обеспечению водой потребителей, использующих существующие водозаборные сооружения, если последние в результате эксплуатации месторождения дренажных вод выйдут из строя;
- оцениваются на определенный ограниченный срок эксплуатации (учитывая сложность гидрогеологических и горнотехнических условий, а также поэтапность освоения месторождения твердого полезного ископаемого, этот срок целесообразно принимать равным сроку первоочередной отработки).

Были реализованы оценки дренажных подземных вод с учетом планов развития дренажных систем Лебединского и Стойленского ГОКов, с выделением запасов для целей хозяйственно-питьевого водоснабжения.

Территория находится в Губкинском районе (Белгородская обл.), в 3 км к юго-востоку от г. Губкина. Разработка железных руд месторождения производится открытым способом с 1959 г.

Подземные дренажные воды, извлекаемые при осушении месторождения, являются попутным полезным ископаемым, которое используется для технического и хозяйственно-питьевого водоснабжения предприятий АО «Лебединский ГОК» и АО «Стойленский ГОК»

Территория расположена в пределах свода Воронежской антеклизы сложенной осадочно-метаморфическими породами архея и нижнего протерозоя.

Осадочный чехол представлен отложениями: среднего и верхнего девона, верхнего девона и нижнего карбона, средней и верхней юры, нижним и верхним отделами меловой системы, палеогена, неогена, четвертичной системы [1, 2].

Геолого-гидрогеологические условия территории определяются переслаиванием водоносных горизонтов и слабопроницаемых относительных водоупорных отложений.

Системы осушения Лебединского и Стойленского карьеров представляет единый комплекс дренажных выработок, состоящих из внешнего и внутреннего контуров осушения.

На исследуемой территории в разные годы были выполнены комплексные геолого-съёмочные и поисково-разведочные на подземные воды работы, математическое моделирование и оценки и переоценки запасов подземных вод по участкам недр крупных водопользователей как самого АО «Стойленский ГОК», так и крупных водопользователей Старооскольского района.

Анализ гидродинамических условий территории Старооскольского железорудного района свидетельствует о том, что гидродинамическая обстановка является здесь достаточно сложной. Это обусловлено значительной фильтрационной неоднородностью толщи водовмещающих отложений в плане и разрезе, а также множеством типов граничных условий. Сложная картина формирования потоков подземных вод определяет выбор метода гидродинамических и миграционных расчетов.

Подсчет запасов подземных дренажных вод проводился на основе математической модели, в основу которой положены данные режимных наблюдений, состоящие в замерах уровней воды в гидротехнических сооружениях; уровней дренажа водоносных горизонтов и комплексов, участвующих в обводнении карьера; величины водоотбора подземных вод на действующих водозаборах; величины водоотлива, а также положением уровней подземных вод (с 1957 года) по режимной наблюдательной сети, включающей на момент оценки запасов около 130 наблюдательных скважин, оборудованных на альб-сеноманский, турон-коньякский водоносные горизонты и на архей-протерозойский водоносный комплекс и расположенных вокруг карьеров и хвостохранилищ.

Подсчет эксплуатационных запасов дренажных подземных вод выполнен с учетом проектного расширения Стойленского и Лебединского карьеров, развития их систем осушения и хвостового хозяйства.

Эксплуатационные запасы оценивались по величине прогнозных водопритоков в дренажный комплекс при его проектном развитии в пространстве и во времени вместе с расширением и углублением карьерного поля.

Прогнозные расчеты показали, что водоприток к дренажной системе Стойленского карьера году будет формироваться в основном за счет фильтрационных потерь из

хвостохранилищ Лебединского (46 %) и Стойленского (38 %) ГОКов, 16 % подземных вод поступает с северной стороны исследуемой территории в основном за счет фильтрационных потерь из реки Осколец.

В работе автором приводятся результаты прогнозной оценки потенциального загрязнения подземных вод на действующих водозаборах г.г. Губкин и Старый Оскол и др. населенных пунктов, а также на водозаборах предприятий Стойленского и Лебединского ГОКов.

Такая оценка необходима, поскольку установлено, что в результате фильтрации воды из хвостохранилищ Лебединского и Стойленского ГОКов в подземные воды может поступать загрязнение, в котором могут быть повышенные содержания ряда компонентов, в т.ч. нефтепродукты [3].

Решение прогнозной миграционной задачи показало, что изменение водохозяйственной обстановки (развитие дренажной системы карьеров развитие дренажной системы карьеров, увеличение водоотбора подземных вод, наращивание площадей хвостохранилищ) приводит к интенсификации скорости распространения потенциального загрязнения подземных вод.

По результатам моделирования на 2045 г со стороны хвостохранилищ ГОКов фронт потенциального загрязнения будет продолжать распространяться в сторону карьеров, достигая максимального распространения. При этом очень важно, что оно не будет доходить до действующих водозаборов г.г. Губкин и Старого Оскола и других населенных пунктов.

Литература

1. Геология, гидрогеология и железные руды бассейна Курской магнитной аномалии (КМА). Том III. Железные руды. Ред. И.Н. Леоненко, М., Недра, 1969.
2. Железные руды КМА (под редакцией В.П. Орлова, И.А. Шевырева, Н.А. Соколова) Геоинформмарк, М., 2001.
3. Мироненко В.А., Мольский Е.В., Румынин В.Г. Изучение загрязнения подземных вод в горнодобывающих районах. Л., Недра, 1988.

СТРУКТУРА ПРОВОДИМОСТИ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ ГОРИЗОНТАЛЬНО-СЛОИСТЫХ МАССИВОВ СКАЛЬНЫХ ПОРОД И ВЛИЯНИЕ ЕЕ НА РЕЗУЛЬТАТЫ ОБЫЧНЫХ ОТКАЧЕК

А.В. Лехов

Обычное представление распределения проницаемости по глубине в верхней части скальных пород базируется на зависимости типа экспоненты с максимумом вблизи уровня подземных вод. Эта функция подтверждается теоретическими исследованиями выветривания и экспериментальными определениями в массивах однородных по литологическому составу пород. В горизонтально-слоистых массивах более адекватна модель отдельных водоносных трещин-зон, разделенных водоупорами мощностью несколько метров. Хотя водоупоры при бурении показывают горизонтальную трещиноватость, но расходометрия скважин четко обнаруживает только отдельные водоносные трещины. По обработке результатов расходометрии большого количества скважин в пермских породах Предуралья (переслаивание терригенных и карбонатных разностей) водоносные трещины-зоны располагаются с шагом 5–20 м по глубине при медиане около 10 м. Расстояния между горизонтальными трещинами в разделяющих интервалах-водупорах первые дециметры. В отличие от трещин-зон в карбонатных породах, трещины-зоны в терригенных не удается проследить по латерали. Тем не менее, в водораздельных и приречных условиях отмечается четкое различие напоров подземных вод в трещинах-зонах. В среднем проводимость отдельных трещин-зон имеет тенденцию к уменьшению с глубиной.

Обычные откачки проводятся из скважин с фильтровыми интервалами на всю мощность водонасыщенной верхней части массива, включающей несколько зон. Чаще откачки одиночные, но иногда и кустовые (1–2 наблюдательные скважины). Все скважины обычно имеют одинаковую конструкцию, т. е. вскрывают все зоны. Поэтому центральной скважиной может являться каждая. Обработка откачек чаще всего проводится для изолированного неограниченного пласта, иногда полагая его безнапорным – метод Джейкоба. В результате значения проводимости T и водоотдачи μ , определенные по центральной и наблюдательным скважинам различаются иногда на порядок и более.

В данной работе проведено исследование величин определяемых параметров на простой модели, включающей две зоны – верхнюю ($T = 100 \text{ м}^2/\text{сут}$, $\mu = 0,1$ и $H^0 = 10,2 \text{ м}$) и нижнюю ($T = 30 \text{ м}^2/\text{сут}$, $\mu = 0,0001$ и $H^0 = 10,0 \text{ м}$), разделенные водоупором мощностью 10 м с вертикальным коэффициентом фильтрации от 0 до 0,01 м/сут. Предполагается, что практически сразу после включения откачки уровне в центральной скважине падает ниже верхней зоны и она начинает работать с постоянным положением уровня и, соответственно с уменьшением поступающего в скважину расхода. Насос работает с постоянным дебитом, что

приводит к постепенному увеличению расхода, поступающего из нижней зоны. В наблюдательных скважинах начинается перетекание по стволам и уровень воды зависит от уровней в зонах, в ближайших наблюдательных скважинах уровень так же может опуститься ниже верхней зоны и из нее начинается откачка с постоянным напором и наливом в нижнюю зону.

Это приводит к совершенно разным результатам определения параметров обычным методом Джейкоба. Проводимости в дальней наблюдательной скважине становятся большими чем в ближней и особенно в центральной от значения для нижней зоны до двухкратного превышения суммарной. Водоотдача ближней скважины превосходит единицу, но и в дальней наблюдательной выше, чем в нижней зоне. При включении перетекания в ближних наблюдательных скважинах графики $S-lgt$ меняются, но тенденции распределения величин параметров сохраняются. С увеличением дебита откачки определяемые значения проводимости увеличиваются, а водоотдачи уменьшаются.

Исследование выполнено в составе НИР «Модели и методы исследований гидрогеологических процессов для рационального использования подземных вод в условиях техногенеза».

ОПЫТ ИЗУЧЕНИЯ СВОБОДНОЙ И СВЯЗАННОЙ ВОДЫ АЧИМОВСКОЙ ТОЛЩИ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Е.С. Казак¹, И.А. Родькина¹, Я.В. Сорокоумова¹, Н.В. Морозов²

¹МГУ имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, г. Москва

²ГПН НТЦ, г. Санкт-Петербург

Изучение отложений ачимовской толщи (АЧ) ведется уже более 50 лет и сегодня в кернохранилищах российских промышленных компаний хранится большое количество керна материала АЧ, полученного еще в ходе бурения на этапе разведочных работ. В связи с удорожанием комплекса геологоразведочных работ и возникновением новых методов исследований, появилась возможность доизучения «старого» керна из ранее пробуренных поисково-разведочных скважин. Отложения АЧ имеют низкую проницаемость и изначально низкую водонасыщенность, поэтому в течение хранения образцы керна могли частично сохранить поровую воду. Для изучения ее состава и количественного содержания использовался предложенный ранее авторский комплексный подход, показавший свою эффективность на слабопроницаемых породах баженовской свиты [Kazak и Kazak, 2021]. Исследования проводились на 21 образце полноразмерного керна аргиллитов АЧ из 12 различных месторождений Западной Сибири.

В результате установлено, что не смотря на низкую проницаемость образцы в ходе хранения потеряли практически всю свободную воду за счет испарения. По результатам метода испарения содержание свободной воды составляет 0-0,2 масс.%. При этом соли из пластовой воды остались в поровом пространстве, что позволило оценить диапазон ее минерализации как NaCl (0,68-14,70 г/л) с помощью модифицированного метода водных вытяжек. Разброс значений минерализации связан с тем, что исследовались образцы керна АЧ из 12 разных месторождений, расположенных друг от друга на расстоянии в несколько сотен километров. Полученные величины задают нижнюю границу возможных величин минерализации поровых вод исследованных образцов пород АЧ и в большинстве своём согласуются с измеренными в ходе разведки значениями.

Емкость катионного обмена (ЕКО) образцов АЧ по данным модифицированного метода СоHex составляет 2,97-3,54 мг-экв/100г, соотносится с ЕКО отложений Bakken, Haynesville, Monteray [Saidian и др., 2016] и баженовской свиты [Kazak и Kazak, 2020].

По данным метода испарения содержание связанной воды в рассматриваемых образцах АЧ изменяется в пределах 0,23-1,00 масс.%. Установлена тенденция увеличения содержания связанной воды с ростом количества глинистых минералов.

Практически все исследованные пробы выделенной воды по изотопному составу соответствуют подземным водам нефтяных месторождений Западно-Сибирского бассейна преимущественно морского происхождения в закрытых бассейнах, то есть действительно является глубинной захороненной морской водой, а не техногенной жидкостью.

Изотермы адсорбции всех образцов АЧ похожи, имеют хорошо выраженную S-образную форму, что позволяет определить количество связанной воды различных типов – моно-, поли- и капиллярной конденсации. Экспериментальное содержание прочносвязанной воды достигает 1,05 масс.%, при этом потенциал адсорбционной емкости воды (максимальное содержание связанной воды на поверхности породы) доходит до 1,5 масс.%. Установлена обратная зависимость содержания воды монослойной адсорбции и кварца, что объясняется гидрофобностью последнего. Выявлена прямая зависимость содержания воды капиллярной конденсации и количества глинистой составляющей, что связано с гидрофильностью глинистого вещества.

Важно отметить, что уставлено увеличение минеральной плотности отложений, минерализации поровой воды, снижение величин ЕКО и содержания связанной воды при сокращении расстояния до коллектора в контактной зоне за счет уплотнения и дегидратации отложений. С расстояния 5 м до коллектора зафиксированы наиболее интенсивные изменения вышеуказанных параметров.

Полученные результаты показывают возможность изучения изотопного состава и минерализации поровой воды даже в «старом» керне АЧ, что создает новые возможности для исследования хранящихся в кернохранилищах образцов пород.

Литература:

1. Kazak E. S., Kazak A. V., An Integrated Experimental Workflow for Formation Water Characterization in Shale Reservoirs: A Case Study of the Bazhenov Formation, SPE J., 2021, Т. 1, стр. 1-16.
2. Saidian M., Godinez L. J., Prasad M., Effect of Clay and Organic Matter on Nitrogen Adsorption Specific Surface Area and Cation Exchange Capacity in Shales (Mudrocks), Journal of Natural Gas Science and Engineering, 2016, Т. 33, стр. 1095–1106.
3. Kazak E. S., Kazak A. V., A novel laboratory method for reliable water content determination of shale reservoir rocks, Journal of Petroleum Science and Engineering, 2019, Т. 106301.

ДИФФУЗИОННЫЕ СВОЙСТВА ГЛИНИСТЫХ БАРЬЕРОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ИЗОЛЯЦИИ РАО

В.А. Лехов, А.С. Семенкова, А.Ю. Романчук

В настоящее время многими странами принята концепция многобарьерности для создания пунктов окончательной изоляции радиоактивных отходов, одним из основных компонентов которой является инженерный барьер на основе природных глинистых материалов вокруг емкостей с отходами [Villar и др., 2018]. Наиболее перспективным материалом является бентонит или глинистые смеси на его основе, за счет его свойств: способность к набуханию, низкие величины коэффициента фильтрации, пластичность, низкие значения коэффициентов диффузии по отношению к предполагаемым для захоронения веществам и способность задерживать радионуклиды. В рамках текущей концепции предполагается использование глинистых смесей в виде уплотненных прессом (компактированных) блоков. Применение предварительно уплотненных блоков позволяет достичь более высокую плотность барьера по отношению к засыпке и последующему уплотнению.

Диффузионные свойства барьерных материалов различной сухой плотности, представленные эффективным коэффициентом диффузии и активной пористостью, определялись в лабораторных одномерных экспериментах в разработанных диффузионных ячейках. Эксперименты проводились по схеме «сквозной диффузии» TD [García-Gutiérrez и др., 2005], которая предполагает поддержание постоянных граничных условия на торцах исследуемых образцов в течении всего эксперимента. Данная постановка опыта позволяет независимо определять коэффициенты диффузии радионуклидов, величины активной пористости и параметры сорбции, выражающиеся в коэффициенте распределения. Образцы, размером 3 см в диаметре и 1 см высотой, уплотнялись до заданных сухих плотностей ($1,2-1,9 \text{ г/см}^3$) в диффузионной ячейке при помощи гидравлического пресса и проходили процедуру насыщения в деионизированной воде в течение ~ 2 недель. Определение диффузионных свойств выполнялось по отношению к трассерам, представленных тритием (НТО) и хлором (Cl-36).

Исследование диффузионного массопереноса было проведено на образцах с различным содержанием смектита (шаг уменьшения доли смектита ~ 25 масс.%), от выделенной тонкой фракции бентонита месторождения 10-й Хутор (смектит – 96 масс.%) до каолинита (смектит – ~ 0 масс.%) при значениях сухой плотности 1,2 и 1,4 г/см^3 . Для получения воспроизводимости и минимизации ошибки определения эксперименты повторялись несколько раз. Полученные значения эффективных коэффициентов диффузии для трития (НТО) демонстрируют наиболее низкие значение для образцов, представленных бентонитами,

$(4,2-10,9) \times 10^{-11}$ м²/с и активной пористостью 0,18-0,28 против $(1,2-1,5) \times 10^{-10}$ м²/с и 0,24-0,25 у каолинитовой смеси (смектит– 19 масс.%). Для трассера, представленного хлором (Cl-36), полученные значения эффективных коэффициентов диффузии носят аналогичную тенденцию и составляют $(1,2-18,3) \times 10^{-12}$ м²/с и величиной активной пористости 0,008-0,01 для бентонитов, а для образцов каолинитовой смеси $(5,0-9,5) \times 10^{-11}$ м²/с и 0,07-0,29, соответственно. Полученные существенные различия между коэффициентами диффузии для трития и хлора могут быть объяснены различным доступным поровым пространством для миграции катионов и анионов (*ion exclusion*) [Loon Van, Glaus, Müller, 2007]. Данный эффект обусловлен практически полным отсутствием движения анионов в двойных электрических слоях.

Литература:

1. García-Gutiérrez M. и др. Overview of Laboratory Methods Employed for Obtaining Diffusion Coefficients in FEBEX Compacted Bentonite // J. Iber. Geol. 2005. Т. 32. № (1) 2006. С. 37–53.
2. Loon L.R. Van, Glaus M.A., Müller W. Anion exclusion effects in compacted bentonites: Towards a better understanding of anion diffusion // Appl. Geochemistry. 2007. Т. 22. № 11. С. 2536–2552.
3. Villar M.V. и др. Hydraulic and mechanical properties of compacted bentonite after 18 years in barrier conditions // Appl. Clay Sci. 2018. Т. 160. С. 49–57.