

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
2025

Содержание:

1. Прогноз качества подземных вод в сложных гидрогеологических условиях с применением моделирования Е.Ю. Потапова	2
2. Оценка разгрузки растворенного в подземных водах метана по разлому на дне озера Байкал Я.В. Сорокоумова, А.В. Расторгуев	7
3. Оценка параметров фильтрационного сопротивления ложа поверхностных водотоков Е.С. Максимова, Р.С. Штенгелов	11
4. Опыт моделирования фильтрации и миграции загрязнения в зоне аэрации и в водоносном горизонте с использованием программного комплекса «Нимфа» В.Л. Воронин, А.М. Чернобровцева	16
5. Применение комплексного анализа при оценке влияния неотектонических структур на гидрогеологические условия Клепиковского прогиба (центральная часть Мещерской впадины) С.А. Глухова, Н.А. Харитонова, Т.В. Суханова, О.В. Пинигин	20
6. Методика решения задачи идентификации параметров по данным кустовых опытно-фильтрационных работ на примере Андреевского месторождения А.А. Маслов	23
7. Анализ формирования каналов с аномально низким фильтрационным сопротивлением в терригенных отложениях викуловской свиты на примере одного из месторождений Краснотенинского свода А.С. Редькин	28
8. Использование вариограммы для обоснования весовых коэффициентов при калибровке геофильтрационной модели В. Н. Самарцев	33
9. Современные вопросы из Общей гидрогеологии: модель – язык – общение Б.А. Шмагин	38

ПРОГНОЗ КАЧЕСТВА ПОДЗЕМНЫХ ВОД В СЛОЖНЫХ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ С ПРИМЕНЕНИЕМ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Е.Ю.Потапова¹

¹*Московский государственный университет, Москва*

Проблемы прогнозирования изменения химического состава подземных вод в процессе эксплуатации имеют большее значение как с точки зрения разнообразия природных условий, так и в связи с увеличением техногенной нагрузки на окружающую среду [1].

Прогноз качества подземных вод на водозаборах складывается из оценки возможности подтягивания к водозабору некондиционных вод, определения сроков их появления в водозаборе и прогноза изменения во времени состава и качества отбираемой воды.

Основные факторы, определяющие формирование химического состава подземных вод месторождений подземных вод при эксплуатации водозаборов, зависят от – региональных особенностей расположения месторождения, в том числе от ландшафта и климата и от геолого-гидрогеологических условий, обуславливающих строение водоносных горизонтов, их залегание, литологический состав водовмещающих и слабопроницаемых отложений, условия питания, скорости движения подземных вод;

Анализ гидрогеологических и гидрогеохимических условий требует получение информации, необходимой для надежного прогнозирования возможных изменений качества подземных вод в процессе их эксплуатации [2].

Выделяется ряд вопросов схематизации природных условий для обоснования прогноза качества подземных вод, которые включают пространственно-временную модель условий формирования эксплуатационных запасов подземных вод, геофильтрационную и расчетную модель месторождения.

Для прогнозов качества подземных вод нужна информация о направлении, скорости движения и балансе формирования запасов подземных вод, которые предшествуют построению моделей прогнозов их качества [3].

Разумеется, что важная роль принадлежит гидродинамическим факторам – неоднородность и анизотропность фильтрационных свойств пород, а основным миграционным параметром, необходимым для прогноза качества является параметр активной пористости, который практически никогда не обосновывается опытно-миграционными работами.

На примере водозабора ООО «КЭСК», который расположен в 4 км западнее с.Джигинка м/о город-курорт Анапа Краснодарского края рассмотрим применение моделирования для обоснования прогноза качества.

Водозабор расположен на границе Таманского полуострова и западного окончания предгорий Большого Кавказа и занимает сравнительно широкую (4-10 км) долину длиной более 2 км, сформированную р.Старая Кубань (Рис. 1).

В 1983-85 гг. в районе размещения участка выполнена предварительная разведка подземных вод для водоснабжения г. Анапа, обоснована схема проектного линейного водозабора, применительно к которой произведен подсчет запасов подземных вод верхнеплиоценового комплекса и верхнекиммерийского горизонта в количестве 11,2 тыс. м³/сут.

Джигинский групповой водозабор был оборудован только в 2012 году, введен в эксплуатацию в 2015 году. Водозабор разбурен с отступлениями от схемы, предложенной ранее по результатам разведочных работ - линейный ряд из 8 скважин, протяженностью 8 км, расположенный вдоль русла р. Старая Кубань (Рис. 2).

которого расположен район работ, выделяются верхнеплиоцен- неоплейстоценовый и на нижнеплиоценовый комплексы (Рис. 3). Необходимо отметить, в настоящее время на водозаборе практически вся его производительность (около 90%) обеспечивалась работой скважин, оборудованных на нижнюю часть верхнеплиоцен-неоплейстоценового комплекса.

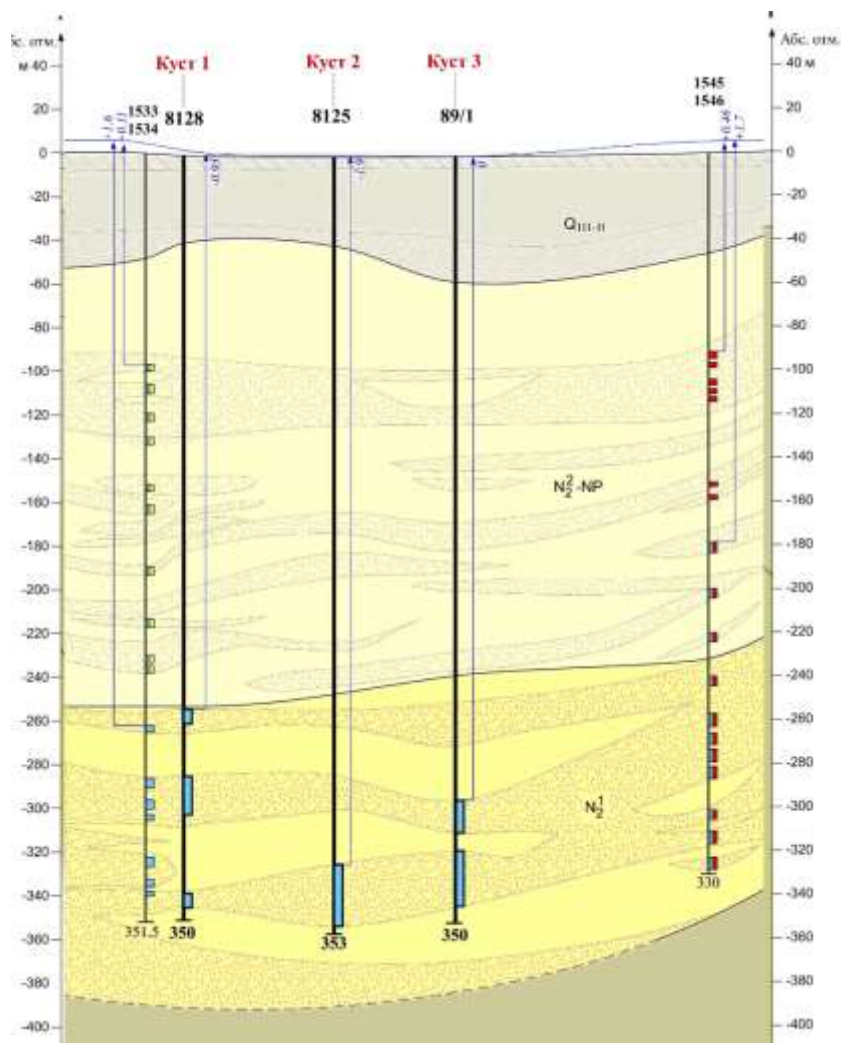


Рис. 3. Геолого-гидрогеологический разрез

При разведке было установлено, что воды, приуроченные к верхнеплиоцен-неоплейстоценовому водоносному комплексу, на большей части территории исследований гидрокарбонатные натриевые или кальциевые с минерализацией менее 1 г/л. Кроме того, была установлена граница подземных вод с минерализацией 1 г/л, которая тяготеет к юго-западной части, где разведочными скважинами вскрыты подземные воды с минерализацией до 1,5 г/л (Рис. 4).

Отмечается, что подземные воды самой верхней части водоносного комплекса засолены (концентрация хлоридов от 250 до 500 мг/л), имеют минерализацию более 1 г/л и жесткость 11-15⁰Ж, а воды нижней и средней части водоносного комплекса до начала эксплуатации имели меньшую минерализацию и жесткость.

Таким образом, гидрогеохимические условия пестрые и неоднородные в плане и разрезе, соответственно прогноз качества вод представляется достаточно сложной задачей.

В процессе оценки запасов подземных вод Джигиского водозабора была разработана и реализована гидродинамическая модель, площадь которой составила 191 км² с прямоугольной сеткой шагом 50 м.

Схематизация реальной многослойной водоносной толщи объекта проведена с учетом природных особенностей её гидрогеологического строения, а также используемой в данном районе «ярусной» схемы эксплуатации подземных вод системой скважин. Вертикальная

дискретизация области фильтрации реализована на модели тремя расчетными слоями: верхнеплиоцен-неоплейстоценовый комплекс до глубин около 150 м); нижняя часть разреза верхнеплиоцен-неоплейстоценового комплекса, до подошвы комплекса (глубина порядка 250 м); нижнеплиоценовый комплекс.

Решение прогнозных задач показало, что в нижней части верхнеплиоцен-неоплейстоценового комплекса уровни понизятся до отметок от – 60 м на участке расположения водозабора до -5 м на периферии расчётной области. В нижнеплиоценовом комплексе уровни подземных вод на участке водозабора снизятся до отметок около -20 м, в а бортах складки до -2 - -4 м. Снижение уровней в комплексе составит при этом от 20 до 5 м соответственно. В области развития дрен, содержащих солоноватые воды, уровни водоносных комплексов опустятся до отметок порядка -5 - -10 м, что создаст условия для инверсии разгрузки подземных вод.

Наряду с прогнозом изменения показателей качества воды в результате смешения при прогнозной нагрузке на скважины водозабора, выполнена оценка потенциального возможного ухудшения качества подземных вод на Джигинском водозаборе вследствие подтягивания к его скважинам солоноватых вод (с минерализацией более 1 г/л) со стороны черноморских лиманов.

Для прогноза продвижения существующей здесь границы некондиционных вод к водозабору на разработанной модели решена прогнозная миграционная задача.

Прогноз потенциального продвижения солоноватых вод к водозабору считался консервативным. Эффективная (активная) пористость водовмещающих отложений задавалась на основе гранулометрических исследований и составила 13 %. По площади лиманов, являющихся источниками поступления солоноватых подземных вод, были заданы значения условной концентрации равной 3, которые задавались на миграционной модели как граничные условия II-го рода (поступление расхода $Q = \text{const}$ с концентрацией $C_0 = \text{const}$).

Задача прогноза движения зоны солоноватых вод решалась на время 10 000 сут, равное расчётному сроку эксплуатации. Зоной развития зоны солоноватых вод считалась область, ограниченная изохронами распространения потоков подземных вод по расчётным линиям тока с концентрацией более 1.

На рисунках (Рис. 4 и 5) показано прогнозируемое положение границы между солоноватыми и пресными водами на конец расчетного срока эксплуатации, а также её исходное положение для обоих эксплуатируемых комплексов

К концу расчётного срока эксплуатации в расчётных слоях сформировалась область продвижения солоноватых вод, заполненная жидкостью с концентрацией более 1.

В верхнеплиоцен-неоплейстоценовом комплексе зона солоноватых вод продвинется к водозабору примерно на 2500-3000 м в центральной части, около 1000 м в южной части (в районе пос. Суворова). В районе восточной бровки Кизилташского лимана, на северо-западе модели, фронт солоноватых вод может сместиться в сторону Джигинского водозабора на 1000 - 1200 м.

В нижнеплиоценовом комплексе граница солоноватых вод продвинется к водозабору примерно на 300 м в центральной части, около 1500 м в южной части (в районе пос. Суворова), а в районе восточной бровки Кизилташского лимана фронт солоноватых вод может сместиться в сторону Джигинского водозабора на 1200 - 1500 м.

Таким образом, решение прогнозной миграционной задачи показало, что водоотбор подземных вод Джигинским водозабором приведет к интенсификации развития зоны солоноватых вод (фронт их развития будет распространяться в сторону водозабора), но не достигнет его за весь период его эксплуатации.

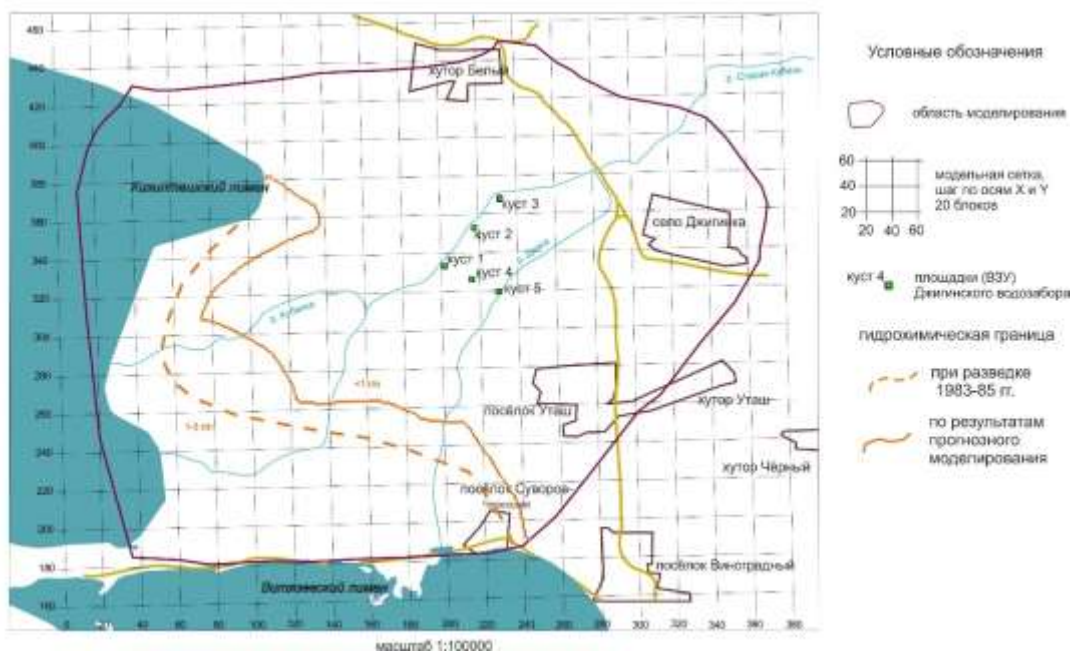


Рис. 4. Результаты прогнозного миграционного моделирования, слой 2 (нижняя часть верхнеплиоцен-неоплейстоценового комплекса)

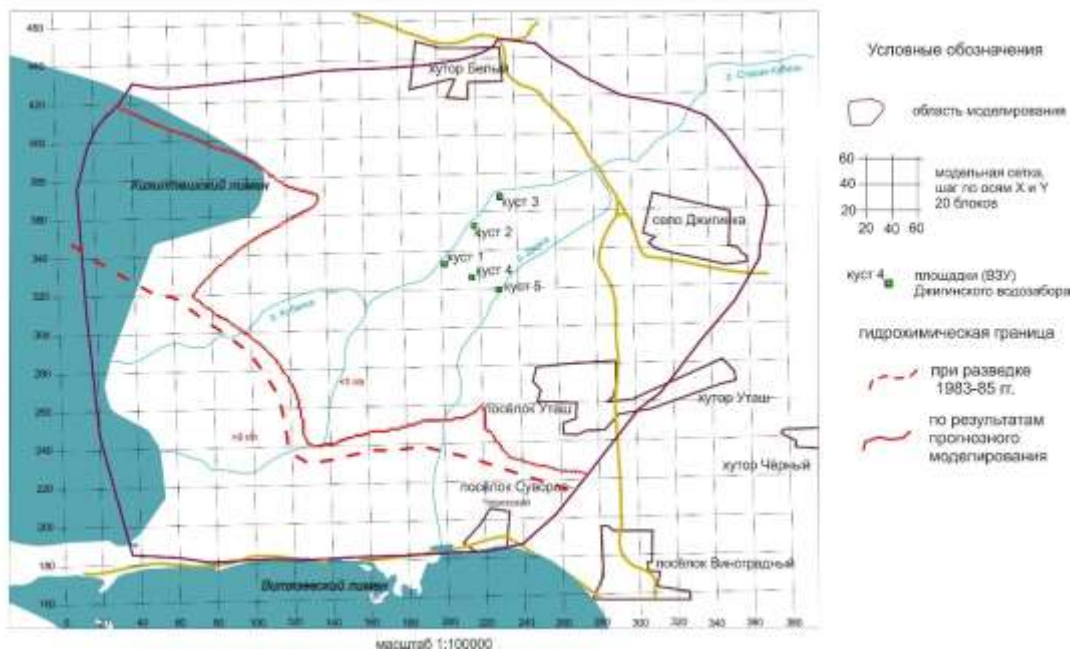


Рис. 5. Результаты прогнозного миграционного моделирования, слой 3 (нижнеплиоценовый комплекс)

Использованные источники

1. Боровский Л.В., Ершов Г.Е., Закутин В.П. Пути прогнозирования изменения качества подземных вод месторождений речных долин и артезианских бассейнов под влиянием природно-техногенных факторов "Разведка и охрана недр", №10, 2003 г.
2. Классификация запасов и прогнозных ресурсов питьевых, технических и минеральных подземных вод. ГКЗ МПР РФ, М., 2007 г.
3. Мироненко В.А., Румынин В.Г. Проблемы гидрогеологии. Т1. Теоретическое изучение и моделирование геомиграционных процессов. М., МГГА, 1998, 611 с.

ОЦЕНКА РАЗГРУЗКИ РАСТВОРЕННОГО В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ МЕТАНА ПО РАЗЛОМУ НА ДНЕ ОЗЕРА БАЙКАЛ

Я.В. Сорокоумова¹, А.В. Расторгуев¹

¹Московский государственный университет, Москва

В строении центральной впадины озера Байкал выделяется крупная структура в виде уступа, протягивающаяся от мыса Ухан до острова Ольхон, в юго-западном простирании (около 60 км), с высотой уступа до 100 метров, которая была названа разлом Гидратный, т.к. она является «проводящей» и к ней приурочены зоны фокусированной разгрузки углеводородов, в том числе – участки структур наличия газовых гидратов [5]. В работе [5] отмечается, что зона разлома, согласно данным сейсмических исследований, подразделяется на ряд участков с различной мощностью осадков, перекрывающих разлом, однако, к зоне, выходящей к поверхности дна (т.е. слой перекрывающих донных отложений составляет 0-10 метров), относится большая часть главной структуры ~50 км, а также – значительная часть меньших тектонических нарушений. Большое количество фокусированных выходов углеводородов, скорее всего, свидетельствует об их преимущественном питании из глубинных резервуаров [4], с миграцией к поверхности дна через дислоцированные зоны. Глубинное происхождение газов подтверждается изотопными исследованиями [1]. Оценка количества газа, разгружающегося по разлому Гидратный, представляет большой интерес, ввиду значительности этой структуры в региональном масштабе всего озера, соответственно, расчет расхода притока метана по ней позволит оценить важнейшую природную балансовую часть общего притока.

Для оценки потенциальной природной разгрузки по разлому Гидратный углеводородов, представленных метаном, был реализован расчет, согласно представлению этого процесса в виде модели конвективно-диффузионного переноса по разломной зоне, заполненной проницаемым материалом, с учётом диффузии во вмещающие породы. Основанием для такой схематизации являются результаты интерпретации сейсмоакустических исследований [3, 5], на которых разлом представляется как разуплотненная зона с отсутствующей слоистостью, контрастно выделяющаяся своей «прозрачностью» на сейсмоакустических профилях и данные исследований, представленные в работе [1], в которой предложено описание схемы миграции газов в пределах разлома Гидратный.

Разгрузка термогенных газов из глубинных отложений озерной котловины по разлому в местах его экспонирования на поверхность дна происходит с глубин не менее 5,5 км [2]. Ширина разуплотненной зоны, соответствующей каналу преимущественной миграции флюидов, неравномерна на протяжении всего разлома, и, в рамках принимаемой концептуальной модели, ширина разлома меньше его предполагаемой глубины.

Сведения о значительном потоке вод, разгружающихся по разлому, отсутствуют, по-видимому, скорости фильтрации флюидов по нему невысокие (но, в то же время, превышают скорости фильтрации во вмещающих породах), поэтому важно учитывать и вклад дисперсии и диффузионного переноса по разлому. Скорости фильтрации, в рамках принимаемой модели, предполагаются постоянными во времени, при расчетах будет исследован диапазон предполагаемых скоростей фильтрации (0,0001-0,01 м/сут). Данные о коэффициенте диффузии, характеризующем зону разлома, отсутствуют, поэтому рассматривается диапазон характерных значений ($9,68 \times 10^{-5}$ - $2,7 \times 10^{-3}$ м²/сут).

Расчетный период для оценки миграции растворенного метана по разлому принимался согласно предпосылке о начале этапа термогенной газогенерации [2] при преобразовании органического вещества донных осадков при достижении достаточной мощности отложений – 23 млн. лет.

Температура в рассматриваемой области меняется в широком диапазоне – от 3 °С в придонной части озера, до 200-300 °С на глубинах свыше 5000 метров, в соответствии с изменением температуры по глубине разлома, меняется и максимальная растворимость метана. Этот же параметр определяет максимально возможную (2,5 моль на кг Н₂О) концентрацию

в источнике, расположенном в зоне заложения разлома – на глубине более 5,5 км и с температурой более 300°C.

Массоперенос в зоне разлома представляет собой перемещение растворенных компонентов с потоком подземных вод, которое происходит совместно с процессом рассеивания за счет процессов гидродинамической дисперсии и диффузии. Принятые допущения для описания массопереноса по трещине: ширина трещины намного меньше ее длины; внутри трещины в поперечном разрезе концентрация одинакова; скорость массопереноса существенно выше в трещине, чем во вмещающих породах; проницаемость вмещающих пород настолько низкая, что перенос вещества в них обусловлен преимущественно диффузионным переносом. Перечисленные условия приводят модель к одномерному переносу вдоль трещины и перпендикулярному ему одномерному переносу во вмещающие породы, с учетом принятых допущений, концентрация растворенного компонента в трещине (разломе) может быть получена на основании аналитического решения [6]. Схематическое изображение концептуальной модели, согласно сейсмоакустическим профилям, приведенным в работах [1, 5], с перечислением исходных параметров для решаемой задачи приведено на (Рис. 1). Реализация аналитического расчета выполнялась при помощи программирования на языке Python.

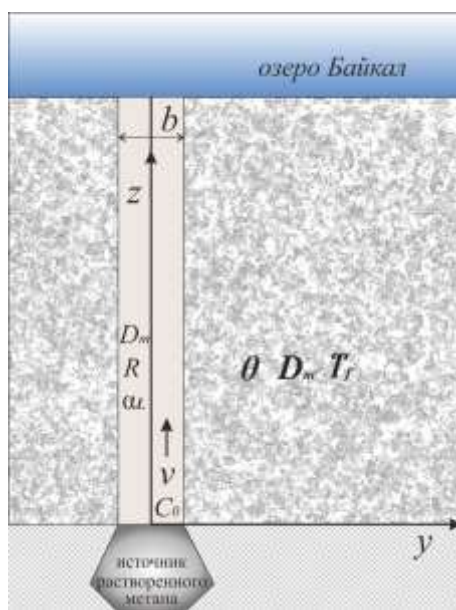


Рис. 1. Концептуальная модель миграции растворенного метана в разломной зоне

Аналитические расчеты для исследования миграции растворенного метана производились для набора параметров: ширина разломной зоны принята постоянной – 300 м, что соответствует диапазону значений, зафиксированных на сейсмоакустических профилях, пересекающих разлом; эффективная пористость в разломной зоне принята 0,01; скорость фильтрации в разломной зоне – 0,001 м/сут, отсутствие разложения метана ($\lambda=0$) и концентрация метана в источнике (на входе в разломную зону) $c_0=2,5$ моль/1 кг H_2O .

Сравнение результатов расчетов миграции растворенного метана в разломной зоне производилось со значениями максимальной растворимости метана при разных значениях температуры, которая представляет верхнюю границу возможного диапазона концентраций растворенного метана. На Рис. 2 приведены результаты расчетов для комбинации параметра продольной дисперсивности и коэффициента молекулярной диффузии растворенного метана в воде, соответствующие профилю концентрации растворенного метана в разломе близкому к максимальной растворимости метана.

Также было произведено сопоставление (Табл. 1) полученных результатов расчетов с данными опробования верхней части донных отложений, приведенными в работе [1] для станции пробоотбора, расположенной на участке, где разлом Гидратный перекрыт отложениями

небольшой мощности [1]. Можно отметить, что расчетные данные, в целом, весьма близки к измеренным значениям концентраций.

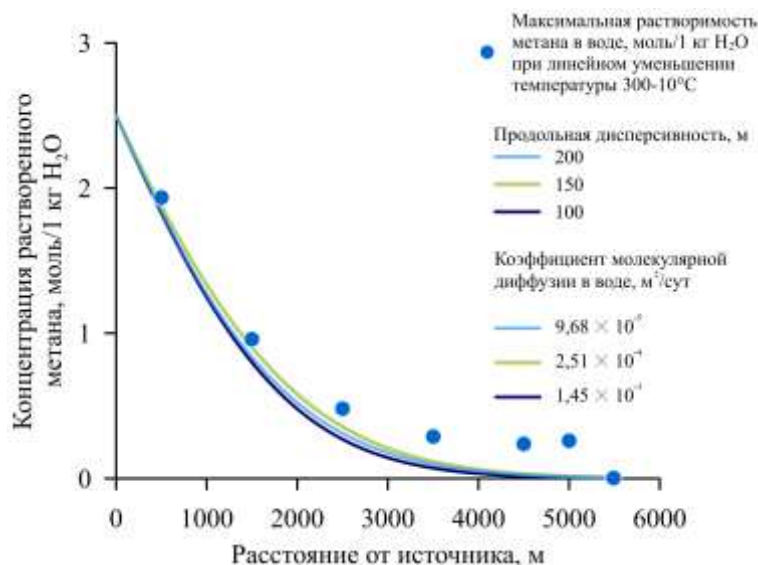


Рис. 2. Распределение концентрации растворенного метана в разломе с концентрацией в источнике 2,5 моль/1 кг H₂O, $\tau = 0,1$, при различных значениях продольной дисперсивности и коэффициента молекулярной диффузии растворенного метана в воде

Табл. 1. Результаты расчета концентрации растворенного метана в придонной области

Расстояние от источника, м	Глубина от дна, м	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Данные работы [1]
		Концентрация растворенного метана, моль/1 кг H ₂ O			
5490	10	0,0026	0,0075	0,0057	Нет данных
5498	2	0,0025	0,0074	0,0056	0,00648
5499	1	0,0025	0,0074	0,0056	0,00218

Согласно полученным результатам расчётов концентраций в верхней части разреза донных отложений, была рассчитана разгрузка растворенного метана по разлому Гидратный, в предположении постоянства средней ширины и остальных параметров по всей длине разлома, но без учета доли (около 1/4 всей длины разлома) сегментов второй и третьей группы, выделенных в работе [5], с толщиной перекрывающих осадков более 10 метров. Расчетная разгрузка растворенного метана через разлом Гидратный составляет 197,1-583,4 т/год.

Заключение

Разработана модель разгрузки растворенных углеводородов по региональному разлому в придонной части озера Байкал, выполнена оценка расхода растворенного метана через эту зону. Расчёты суммарной разгрузки растворенного метана для сегментов разлома Гидратный, перекрытых отложениями минимальной мощности (до 10 м), показали следующий диапазон значений: 197,1-583,4 т/год.

Использованные источники

1. Видищева О.Н., Ахманов Г.Г., Соловьева М.А., Маццини А., Хлыстов О.М., Егошина Е.Д., Кудавев А.А., Корост Д.В., Полудеткина Е.Н., Морозов Н.В., Григорьев К.А. Особенности разгрузки углеводородных газов вдоль разлома Гидратный (озеро Байкал). Вестник Московского университета. Серия 4: Геология, 2021, № 3, с. 3-16.
2. Видищева О.Н. Особенности генерации и миграции углеводородных флюидов в рифтовом бассейне озера Байкал: дисс. канд. геол.-мин. наук: 1.6.11 / Видищева Олеся Николаевна. М., 2023. – 122 с.
3. Пятилова А.М., Ахманов Г.Г., Соловьева М.А., Хлыстов О.М. Грязевые вулканы озера

Байкал (по материалам Class@Baikal). Труды XI Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU) 2022». Том IV. ООО «ПолиПРЕСС», Тверь, 2022, с. 41-44.

4. Clarke, R.H., Cleverly, R. Petroleum seepage and post-accumulation migration. Geological Society, London, Special Publications, 1991, 59, p. 265-271.

5. Solovyeva M.A., Akhmanov G.G., Mazzini A., Khabuev A.V., Khlystov O.M. The Gydratny Fault zone of Lake Baikal. Limnology and Freshwater Biology, 2020, v. 1, p. 368-373.

6. Tang D.H., Frind E.O., Sudicky E.A. Contaminant transport in fractured porous media: Analytical solution for a single fracture. Water resources research, 1981, v. 17, iss. 3, p. 555-564.

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ФИЛЬТРАЦИОННОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ЛОЖА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДОТОКОВ

Е.С. Максимова¹, Р.С. Штенгелов¹

¹Московский государственный университет, Москва

Месторождения приречного типа [1, 6] обеспечивают основной объем освоенных, разведанных и перспективных запасов пресных подземных вод для питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения населения и промышленных объектов. Взаимодействие подземных вод с элементами поверхностной гидросети на таких месторождениях служит основным балансово-гидрогеодинамическим механизмом формирования запасов эксплуатируемых водоносных горизонтов.

Взаимосвязь подземных и поверхностных вод в подавляющем большинстве природных ситуаций имеет несовершенный характер, что учитывается при расчетах приречных подземных водозаборов установкой на контурах поверхностной гидросети в общем случае граничного условия 3-го рода, которое обеспечивает линейную связь трансграничного расхода q_r с разностью напоров на граничном контуре H_r и в приграничной зоне водоносного горизонта H :

$$q_r = \frac{H_r - H}{f_0}. \quad (1)$$

Регулятором линейной связи в граничном условии 3-го рода является фильтрационное сопротивление подрусловых отложений между водовмещающими породами водоносного горизонта и поверхностным водотоком. В качестве базового, первичного параметра используется удельная (на 1 м линейного контура или на 1 м² площадного условия) величина этого сопротивления f_0 . Изучение строения и фильтрационных свойств отложений в русле и непосредственно под руслом реки крайне затруднительно и в техническом, и в методологическом отношении. Поэтому в теории гидрогеодинамики используется условная модель монослоя ("экрана"), обладающего обобщенной величиной подруслового сопротивления, определяемой опытным путем:

$$f_0 = \frac{m_0}{K_0} \text{ [сутки]}, \quad (2)$$

где K_0 – коэффициент фильтрации отложений условного экрана, m_0 – его мощность.

Таким расчетным монослоем может быть: а) слой современных донных отложений – илы мощностью 0,2-0,3 м (для равнинных рек значительной части платформенных областей России), б) слой супесчано-суглинистого и глинистого состава мощностью около 1 м в разрезе аллювиальных отложений разного возраста под современным руслом реки.

В алгоритмах программ моделирования фильтрации для описания граничного условия 3-го рода обычно используется коэффициент перетекания в ложе реки χ_0 :

$$\chi_0 = \frac{1}{f_0} = \frac{K_0}{m_0} \text{ [сутки}^{-1}\text{]}. \quad (3)$$

Удобным приемом в практике гидрогеодинамических расчетов рекомендуется и широко используется метод «дополнительного слоя» [3,4], идеология применения которого заключается в формальной замене реальной несовершенной реки (граничное условие 3-го рода) совершенной (граничное условие 1-го рода) путем смещения уреза реки на величину «эквивалентной длины» ΔL с таким расчетом, чтобы фильтрационное сопротивление вводимого дополнительного участка подземного потока было эквивалентно сопротивлению реального подруслового экрана, удаляемого из расчетной схемы.

Сравнение описания фильтрационных сопротивлений в условном линейном потоке на участке ΔL и в реальном субвертикальном потоке перетекания в теле подруслового экрана дает параметрическое наполнение понятия «эквивалентная длина» [5]:

– в линейном потоке (при единичной ширине ленты тока)

$$\Phi_{л} = \frac{\Delta L}{T},$$

– в потоке перетекания

$$\Phi_{п} = \frac{m_0}{K_0 \Delta L},$$

откуда

$$\Delta L = \sqrt{T f_0} = B_0 \text{ [м]}, \quad (5)$$

где T – проводимость водоносного горизонта, B_0 – фактор перетекания в ложе реки.

Использование параметра ΔL справедливо применительно к потокам линейной плоско-плановой пространственной структуры. Полевая методика его определения базируется на выполнении длительных опытно-фильтрационных (режимных) наблюдений за естественным состоянием потока, разгружающегося в реку, либо (в условиях подпора), поступающего из реки в водоносный горизонт. Уровненные наблюдения проводятся одновременно на линейном створе из двух скважин и на водомерном посту на реке. Требования к дизайну организации расчетного створа приведены на рис. 1.

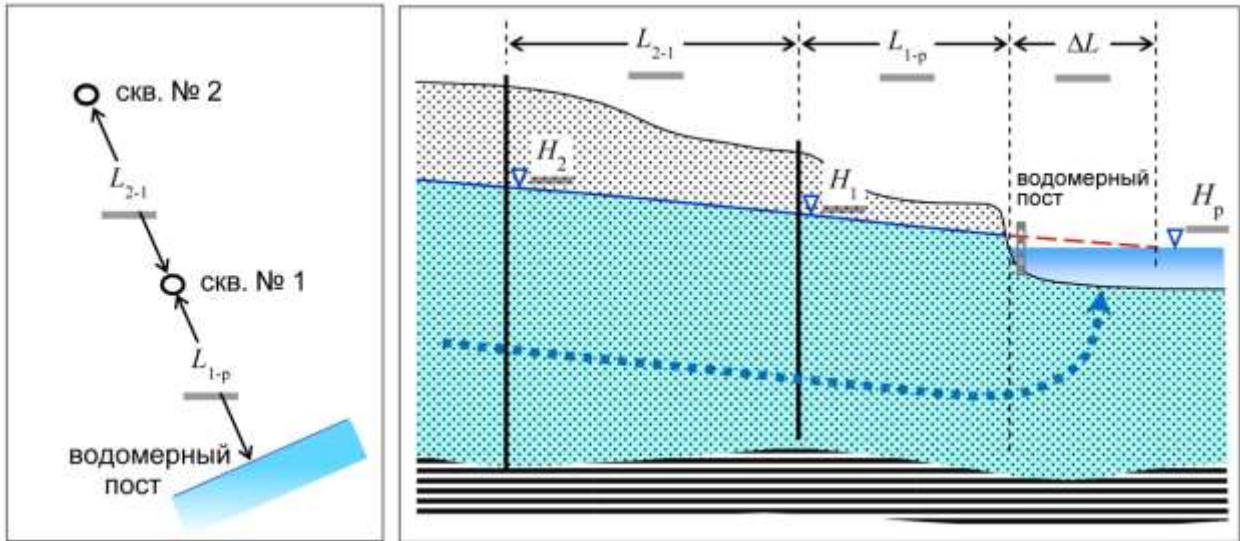


Рис.1. Форма организации створа режимных наблюдательных скважин

Методика интерпретации режимных наблюдений основана на сравнении градиентов напора в стационарном линейном потоке в двух фрагментах створа:

расход потока в верхнем фрагменте (между скважинами №2 и №1)

$$q_{2-1} = T \frac{H_2 - H_1}{L_{2-1}}, \quad (6)$$

расход потока в нижнем фрагменте (между скважиной №1 и урезом реки)

$$q_{1-p} = T \frac{H_1 - H_p}{L_{1-p} + \Delta L}, \quad (7)$$

откуда

$$\Delta L = \frac{H_1 - H_p}{H_2 - H_1} L_{2-1} - L_{1-p}, \quad (8)$$

где H_2, H_1, H_p – уровни соответственно в дальней, ближней скважинах и в реке, L_{2-1}, L_{1-p} – расстояния между скважинами и между ближней скважиной и рекой.

Очевидно, что оценка (8) справедлива лишь при определенных допущениях, которые следует рассматривать как необходимые условия применимости метода:

а) выбор расчетных интервалов в периоды межениных состояний потока, характеризующихся стационарным положением либо чрезвычайно замедленным монотонным спадом (подъемом) уровней подземных и поверхностных вод.

б) квазиоднородность водоносного горизонта по проводимости в пределах створа.

в) постоянство расхода потока в пределах створа, то есть отсутствие каких-либо значимых механизмов питания или дренирования подземных вод.

При обосновании метода «дополнительного слоя» [3,4] по умолчанию предполагается, что водоток имеет теоретически неограниченную ширину русла $G \rightarrow \infty$, то есть потоки с обоих берегов не взаимодействуют при разгрузке в русло реки и, следовательно, определяемый по (8) параметр должен рассматриваться как эквивалентная длина L_n только для «своего» берега. В реальной природной обстановке условие «неограниченной» ширины русла в подавляющем большинстве случаев не выполняется, так как основу гидрографической сети составляют малые реки с шириной русла 10-50 м, реже до 100-150 м. Поэтому результат оценки по (8) методически правильно представлять в виде универсального тождества [2]:

$$L_n = B_0 \operatorname{cth} 0,5\bar{G}, \quad (9)$$

где $\bar{G} = \frac{G}{B_0}$ – приведенная (безразмерная) ширина русла реки, cth – обозначение функции гиперболического котангенса.

Сопоставляя (5) и (9), следует заключить, что параметр ΔL является достаточным показателем гидрогеодинамического характера реки только при условии

$$\operatorname{cth} 0,5\bar{G} \leq 1 + \varepsilon, \quad (10)$$

где ε – допустимая погрешность расчета.

Принимая в практически реальном диапазоне $\varepsilon = 0,1-0,05-0,01$, получим, что река может рассматриваться как водоток неограниченной ширины («широкая», по терминологии [6]) при приведенной ширине русла $G > 3,04-3,7-5,3$ соответственно (рис.2).

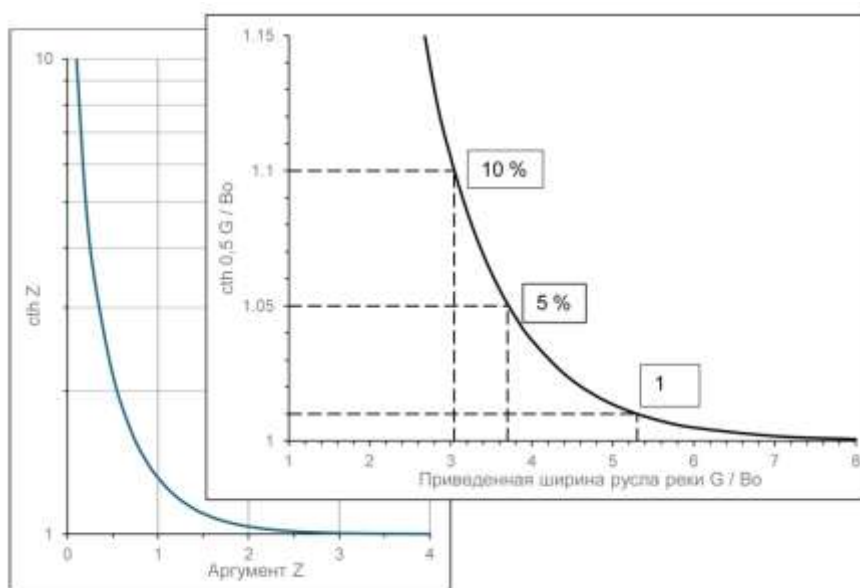


Рис.2. Функция гиперболического котангенса (а) и зависимость погрешности расчета от приведенной ширины русла реки (б)

Расчеты показывают, что в качестве «широких» рек могут уверенно рассматриваться только главные реки (Волга, Обь, Енисей, Амур и др.) и их притоки 1-2 порядка в их среднем и нижнем течении.

Таким образом, следует превентивно принимать, что большинство элементов гидрографической сети имеет «узкий» в гидрогеодинамическом отношении характер, для которого объективными показателями граничного условия 3-го рода выступают удельное фильтрационное сопротивление экрана f_0 и фактор перетекания в ложе реки B_0 .

Учитывая зависимость эквивалентной длины $\Delta L = L_n$ от приведенной ширины реки, достоверная оценка параметра f_0 должна выполняться путем решения трансцендентного уравнения (9) относительно фактора перетекания B_0 любым численным методом, после чего определяется

$$f_0 = \frac{B_0^2}{T}. \quad (11)$$

В производственной практике обычно применяется необоснованно упрощенный подход, при котором в уравнении (11) вместо фактора перетекания B_0 используется непосредственно эквивалентная длина ΔL , определяемая по данным режимных наблюдений по уравнению (8) в предположении неограниченной ширины русла реки:

$$f_0^* = \frac{\Delta L^2}{T}. \quad (12)$$

Это очевидное нарушение теоретического обоснования потенциально приводит к погрешностям параметрических оценок, направленность и масштаб которых оценены авторами по результатам серии имитационных модельных экспериментов.

В модельных экспериментах в различных сочетаниях исследован диапазон вариации приведенной ширины русла реки 0,48 – 9,6 при значениях удельного фильтрационного сопротивления 0,1 – 1000 суток, фактора перетекания в ложе реки 7,9 – 790 м, проводимости водоносного горизонта 625 – 5000 м²/сутки, удельного расхода естественного потока 2-4 м²/сутки и расстановки наблюдательных скважин на расстояниях от 40 до 180 м. По результатам модельных экспериментов установлена эмпирическая степенная зависимость соотношения оценок по (12) и (11) f_0^* / f_0 от приведенной ширины русла реки \bar{G} (рис.3):

$$f_0^* / f_0 = 5,371 \cdot \bar{G}^{-1,429}. \quad (13)$$

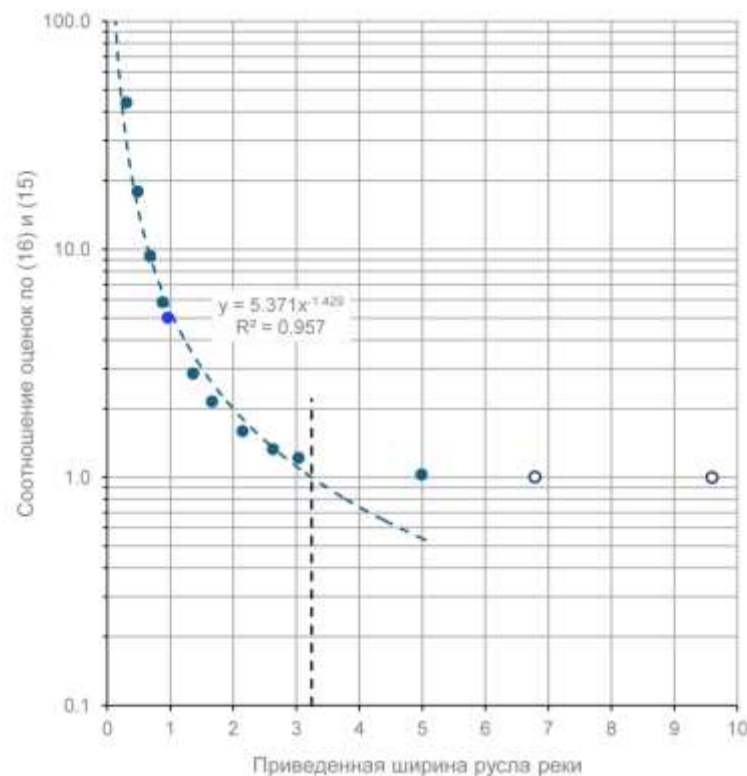


Рис. 3. Зависимость соотношения точной и упрощенной оценок удельного фильтрационного сопротивления экрана от приведенной ширины реки (модельная имитация)

При соотношении $f_0^* / f_0 \leq 1$ река может рассматриваться как «широкая». Согласно (13), это условие выполняется при приведенной ширине русла реки

$$\bar{G} = \left(\frac{1}{5,371} \right)^{-\frac{1}{1,429}} = 3,243, \quad (18)$$

что близко согласуется с оценками по критерию (10)

Метод «дополнительного слоя» привлекателен экономичностью организации и технологической простотой применения; в методическом отношении чрезвычайно важна

возможность многократной повторности оценок параметров. В то же время в научно-методической литературе не детализированы принципы интерпретации получаемых результатов.

Методика применения метода «дополнительного слоя» требует совершенствования для климатических зон с невыраженными меженными периодами и неустойчивым гидрологическим режимом с целью разработки системы поправок, учитывающих скорость изменения уровней рек и подземных вод на расчетном интервале времени. Особого рассмотрения требует учет существования разгрузки из нижезалегающих межпластовых горизонтов в днищах речных долин.

Использованные источники

1. Боровский Б.В., Дробноход Н.И., Язвин Л.С. Оценка запасов подземных вод. Изд.2-е. Киев, Выща школа, 1989. 407 с.
2. Мироненко В.А., Шестаков В.М. Теория и методы интерпретации опытно-фильтрационных работ. М., Недра, 1978. 325 с.
3. Шестаков В.М. Оценка сопротивления ложа водоема при гидрогеологических расчетах. / Разведка и охрана недр, 1964, № 5, с.34-36
4. Шестаков В.М. Теоретические основы оценки подпора, водопонижения и дренажа. М., Изд-во Моск. ун-та, 1965. 233 с.
5. Шестаков В.М. Динамика подземных вод. М., Изд-во Моск. ун-та, 1979. 368 с.
6. Штенгелов Р.С. Курсы лекций «Разведочная гидрогеология» и «Поиски и разведка подземных вод». Учебное пособие для студентов кафедры гидрогеологии геологического факультета МГУ имени М. В.Ломоносова (переработанная и дополненная редакция, 2015). Электронный ресурс, URL: <https://geo.web.ru/db/msg.html?mid=1188021>

ОПЫТ МОДЕЛИРОВАНИЯ ФИЛЬТРАЦИИ И МИГРАЦИИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ В ЗОНЕ АЭРАЦИИ И В ВОДОНОСНОМ ГОРИЗОНТЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА «НИМФА»

В.Л. Воронин^{1,2}, А.М. Чернобровцева²

¹Московский государственный университет, Москва

²ФГБУ «Гидроспецгеология», Москва

При исследовании распространения загрязнения в подземных водах от источников, расположенных на поверхности земли, основным методом решения эпигнозных и прогнозных задач является математическое моделирование. Классические инструменты моделирования геофильтрации и геомиграции, такие как MODFLOW [3], позволяют моделировать только процессы, происходящие в зоне полного насыщения. В тех случаях, когда невозможно пренебречь процессами миграции в зоне аэрации, для их моделирования используется дополнительное программное обеспечение, такое как, например, HYDRUS [4]. Современные программные комплексы, разрабатываемые в настоящее время в России, такие как GeRa [1] и Нимфа [2], позволяют моделировать процессы фильтрации и миграции как в зоне аэрации, так и в зоне полного насыщения. При использовании этих программных комплексов, предпочтительным является решение задач геофильтрации и геомиграции в рамках единой модели, включающей как зону аэрации, так и зону полного насыщения. В рамках работ по обоснованию воздействия на окружающую среду одного из объектов радиационного загрязнения была проведена попытка такого моделирования.

Объект исследования расположен на денудационной равнине с участками абразионных террас в долине крупной реки. С западной и северной стороны площадки расположен овраг. В овраге отмечается наличие ручья, питающегося преимущественно за счёт родниковой разгрузки и высачивания вдоль склона оврага грунтовых вод. Расстояние от границы площадки до ручья составляет от 40 до 110 м, до реки – около 600 м. Абсолютные отметки поверхности на территории площадки изменяются в пределах от 126 до 145 м, уклон поверхности ориентирован к западу, к долине оврага. Уровень реки ниже уровня поверхности на участке ПХРО на 50–70 м.

Геологическое строение изучаемого района охарактеризовано до глубины 300 м, включая региональный водоупор, представленный гипсами и ангидритами кунгурского яруса нижней перми (P_{1kg}). Над отложениями кунгурского яруса залегают карбонатно-терригенные отложения уфимского яруса верхней перми (P_{1u}), а также терригенные неогеновые и четвертичные отложения (

Рис. 1). На территории площадки из отложений четвертичной системы распространены делювиальные отложения нижнечетвертичного возраста (dQ_I), представленные глинами и суглинками.

Геологическая модель объекта является двухслойной. Модельный слой 1 охватывает техногенные отложения (tQ_{IV}), а также нижнечетвертичные делювиальные отложения (dQ_I). К модельному слою 2 относятся отложения уфимского яруса нижней перми (P_{1u}), представленные глинами и суглинками с многочисленными линзами и прослоями песчаников, известняков и мергелей. В качестве нижней границы модели принята кровля водоупорных отложений кунгурского яруса.

Источниками загрязнения подземных вод являются хранилища твердых и жидких радиоактивных отходов. Главным моделируемым компонентом является тритий. В соответствии с гидрогеологическими условиями района исследований распространение загрязнения от потенциальных источников после его миграции в зоне аэрации, вероятно, будет происходить преимущественно в отложениях уфимского яруса на запад в сторону ручья.

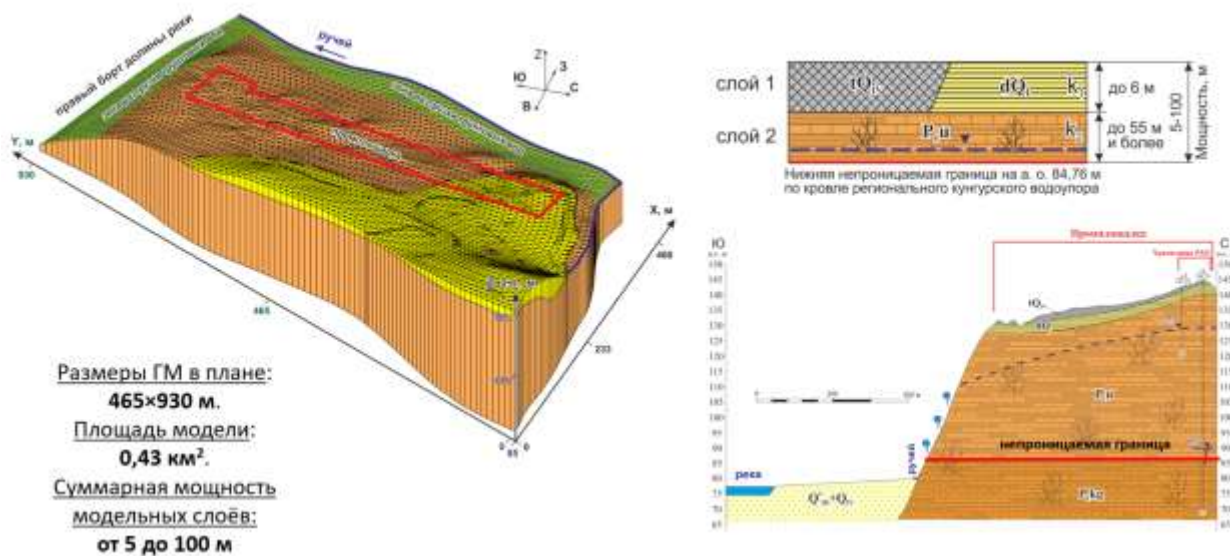


Рис. 1. Обобщенное представление геологического строения территории

Пространственная структура геофильтрационного потока на рассматриваемой территории принимается трёхмерной: поток грунтовых вод распространяется, как в плане, так и в разрезе. В зоне аэрации происходит преимущественно вертикальный влагоперенос поступающих атмосферных осадков и талых вод, однако на границе хорошо- и слабопроницаемых отложений возможно насыщение порового пространства за счёт резкого снижения скорости влагопереноса и формирование локальных зон полного водонасыщения (верховодки). В слоях верховодки движение воды будет преимущественно латеральным, и оно будет продолжаться вплоть до достижения границы глинистого прослоя или зоны его размыва. Здесь вертикальное движение воды возобновляется и продолжается вплоть до достижения следующего слабопроницаемого прослоя (Рис.). При этом направление горизонтального движения определяется исключительно рельефом поверхности раздела хорошо- и слабопроницаемых отложений. В связи с тем, что вышеописанные процессы как в пределах зоны аэрации, так и в водоносном горизонте, контролируются неоднородностью строения уфимских отложений, которая имеет случайный характер и не может быть задан в детерминированной модели, при моделировании фильтрации и миграции отложения уфимского яруса на модели заданы как квазиоднородная толща. При этом при моделировании фильтрации и влагопереноса было задано повышенное значение анизотропии проницаемости, а при моделировании миграции — увеличенное значение дисперсивности в горизонтальном направлении.

Модель геофильтрационного потока территории ПХРО включает в себя модель ненасыщенного потока в зоне аэрации и модель потока грунтовых вод в безнапорном водоносном горизонте в отложениях уфимского яруса.

Геофильтрационная модель участка создана с использованием программного комплекса НИМФА на основе ранее разработанной геологической модели. К сожалению, попытка моделирования геофильтрации и геомиграции в зоне аэрации и зоне полного насыщения не увенчалась успехом, время расчёта модели превышает все разумные пределы. В связи с этим, модель была разделена: процессы фильтрации и миграции загрязнения в зоне аэрации моделировались отдельно на упрощённой модели.

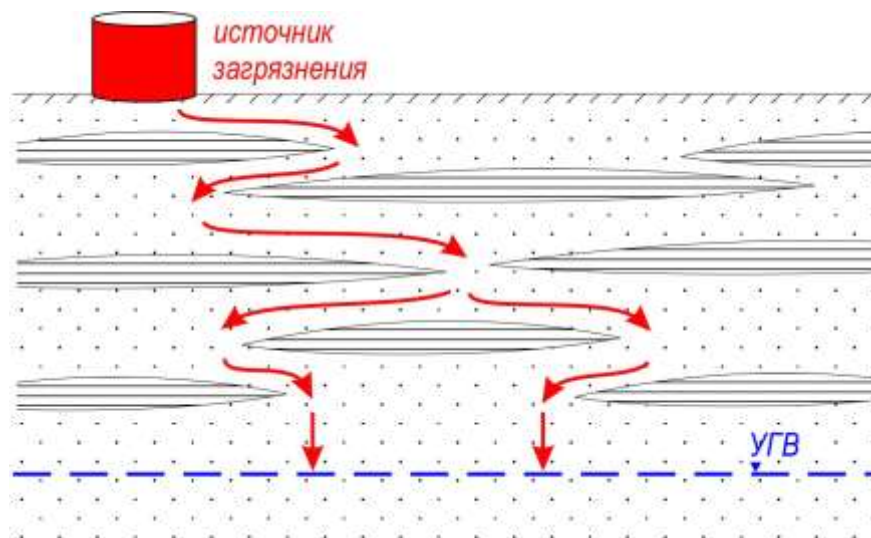


Рис. 2. Схема миграции загрязнения от потенциального источника через зону аэрации, имеющую слоистое строение, на уровень грунтовых вод

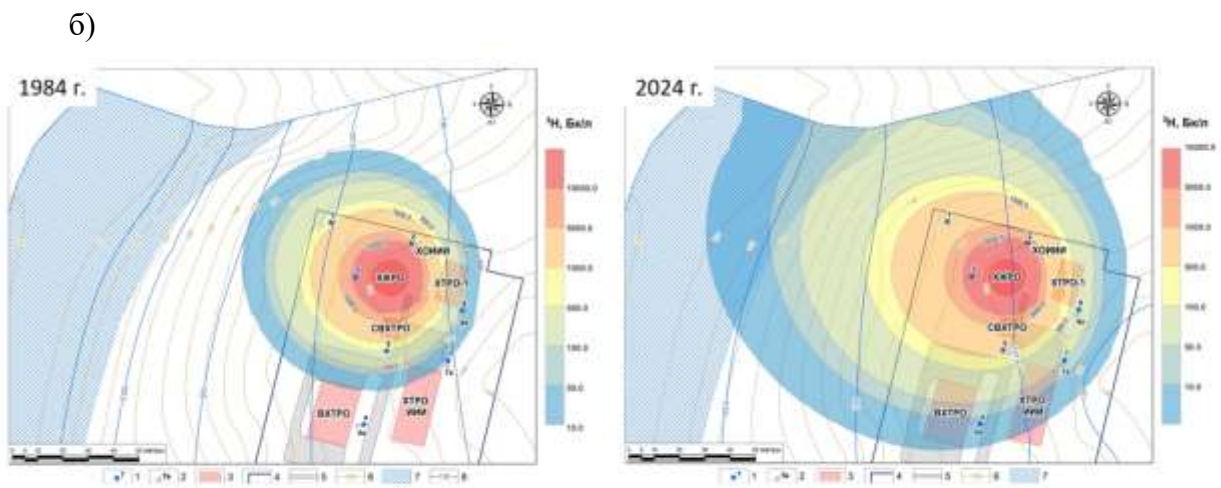
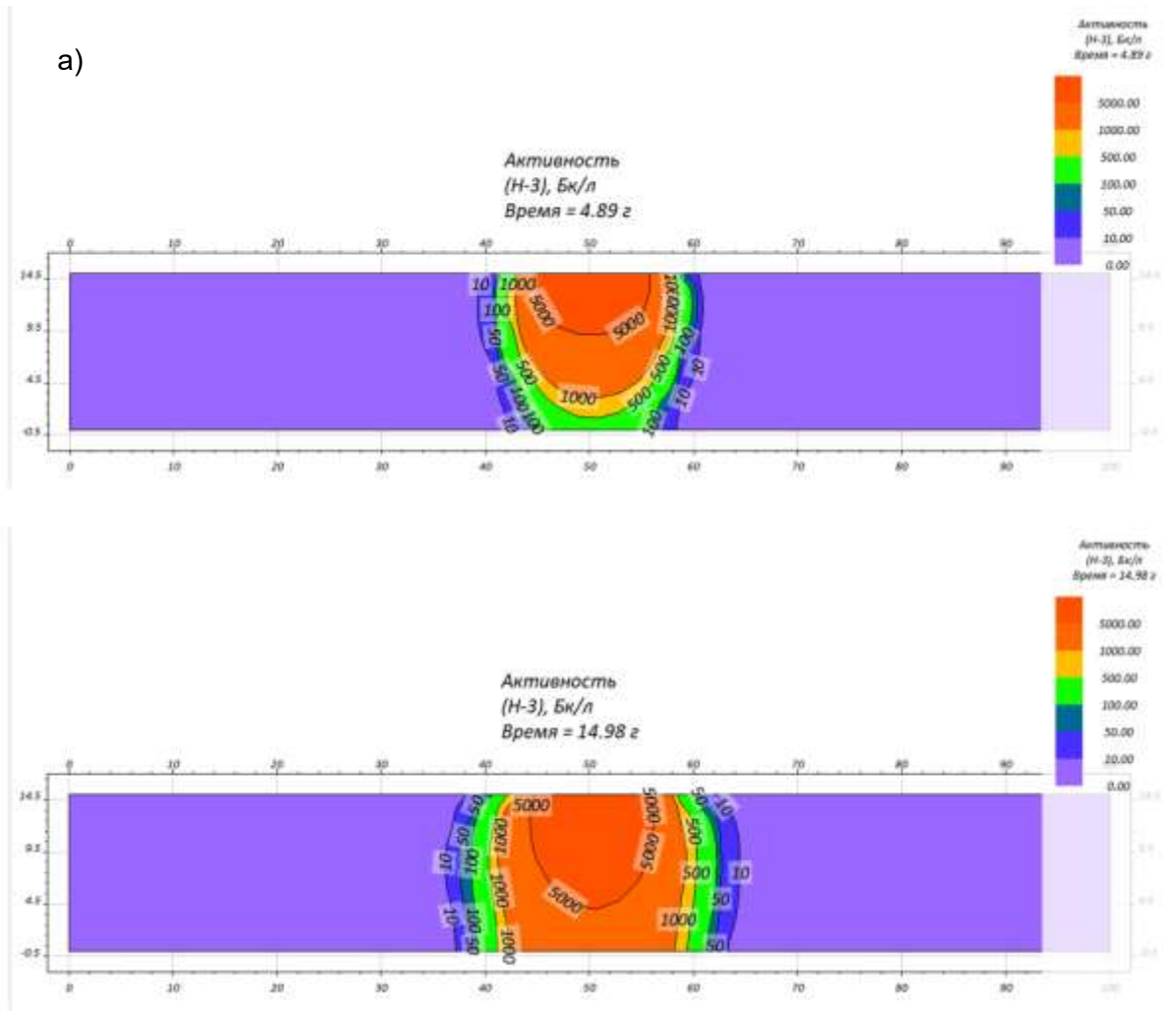
Модель зоны аэрации является стационарной по фильтрации и нестационарной по миграции. Миграция рассчитывалась на период до 20 лет. В результате моделирования определено, что загрязнение достигает водоносного горизонта через 10 лет, а через 15 лет происходит полная стабилизация ореола распространения трития в зоне аэрации (рис. 3а). Концентрации загрязнения полученные на модели зоны аэрации задавались на модели потока в зоне полного насыщения.

Модель зоны полного насыщения также стационарна по фильтрации и нестационарна по миграции. При постоянном по времени поступлении загрязнения в водоносный горизонт ореол распространения трития в нём полностью стабилизируется через 55 лет, т.е. фактически к настоящему времени (рис. 3б). Стабилизация ореола происходит как за счёт радиоактивного распада трития, так и за счёт его разгрузки за пределы модели, в основном в процессе эвапотранспирации.

Программный комплекс Нимфа позволяет решать задачи моделирования геофильтрации и геомиграции как в зоне аэрации, так и в зоне полного насыщения. Однако объединение решения этих задач в настоящее время не удаётся реализовать. Возможно развитие программного обеспечения в ближайшее время позволит решать эти задачи в рамках единой модели.

Использованные источники

1. Капырин И.В., Иванов В.А., Копытов Г.В., Уткин С.С. Интегральный код GeRa для обоснования безопасности захоронения РАО. // Горный журнал, 2015, №10, с. 44-50.
2. Шагалиев Р.М., Бутнев О.И., Горев И.В., Журавлева М.В., Колесников С.С., Лысова Е.Н., Машенькин П.А., Пронин В.А., Сидоров М.Л. Комплекс программ Нимфа. Методика решения задач нелинейной однофазной фильтрации и тепломассопереноса жидкости в пористых средах. // Вестник кибернетики. 2017, № 25, с. 58-66.
3. Chiang W.-H.; Kinzelbach W. 3D-groundwater modeling with PMWIN: a simulation system for modeling groundwater flow and pollution. Springer, 2000.
4. Radcliffe D., Simunek J. Soil Physics with HYDRUS: Modeling and Applications. CRC Press, 2010.



1-2 – режимная наблюдательная скважина, номер: 1 – вскрывающая грунтовые воды отложений уфимского яруса, 2 – сухая; 3 – ЯРОО; 4 – границы промплощадки; 5 – дороги; 6 – изолинии рельефа с шагом 5 м, а.о. (по ЦМР); 7 – зона высачивания; 8 – модельные гидрозогиалсы

Рис. 3. Модельные ореолы трития в зоне аэрации (а) и в водоносном горизонте (б)

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСНОГО АНАЛИЗА ПРИ ОЦЕНКЕ ВЛИЯНИЯ НЕОТЕКТОНИЧЕСКИХ СТРУКТУР НА ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ КЛЕПИКОВСКОГО ПРОГИБА (ЦЕНТРАЛЬНАЯ ЧАСТЬ МЕЩЕРСКОЙ ВПАДИНЫ)

С.А. Глухова¹, Н.А. Харитоновна^{1,2}, Т.В. Суханова³, О.В. Пинигин⁴

^{1,2,3}*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия*

²*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Дальневосточный геологический институт Дальневосточного отделения Российской академии наук», г. Владивосток*

⁴*Индивидуальный предприниматель, г. Москва, Россия*

Территория Московского артезианского бассейна обладает значительными ресурсами подземных вод. В связи с густонаселенностью территории подземные воды подвержены высокой антропогенной нагрузке, связанной со значительной величиной водоотбора и наличием потенциальных источников загрязнения. Согласно отчетам недропользователей [9], фактический водоотбор в 2019 году на территории г. Москвы и Московской области составил 1,02 млн. м³/сут. За период с 2018 по 2023 годы в Московской области в рамках федерального проекта «Чистая страна» ликвидирован 21 полигон ТКО, являющиеся потенциальными источниками поступления загрязнения в подземные воды [5]. Основной проблемой рационального использования и охраны подземных вод на территории центральной части Московского артезианского бассейна (МАБ) является выявление взаимосвязи целевых для водоснабжения горизонтов карбона с вышележащими комплексами мезокайнозоя. Особенностью этой взаимосвязи является наличие гидрогеологических окон различной природы, в пределах которых возможно быстрое проникновение загрязнения из приповерхностных водоносных горизонтов в глубокие через разделяющие слабопроницаемые отложения за счет нарушения их сплошности и увеличения проницаемости [6]. Поэтому выявление и корректный учет гидрогеологических окон является актуальной проблемой повышения обоснованности и достоверности прогнозов использования и охраны подземных вод в центральной части МАБ.

По результатам проведения линеаментного, структурно-геоморфологического и геодинамического анализов в центральной части Мещерской впадины выявлена современная тектоническая структура — Клепиковский прогиб [1, 8]. Результаты исследований позволили предположить, что формирование центральной части прогиба происходит в условиях сдвиговых напряжений, развитых в литифицированных отложениях карбона. При этом в перекрывающих терригенных мезокайнозойских образованиях над областью сдвига возможно развитие зоны разрушений [7], характерной для подобных деформаций, и как следствие — формирование гидрогеологического окна.

Для оценки влияния гидрогеологического окна, сформированного в результате проявления тектонического фактора, на гидрогеологические условия был применен комплексный анализ, включающий изучение урвенной поверхности водоносных горизонтов и комплексов, фильтрационной неоднородности водовмещающих и разделяющих отложений, а также химического и изотопного состава подземных вод.

По гидрогеологическим условиям в пределах изучаемой территории мезокайнозойский комплекс, содержащий безнапорные воды, отделен слабопроницаемой келловей-кимериджской толщей от вышележащего напорного касимовского водоносного комплекса.

По данным анализа фондовых материалов водопроницаемость касимовского водоносного комплекса для территории Мещерской впадины достигает максимальных значений в центральной части Клепиковского прогиба. Здесь же сформирована область повышенной проницаемости келловей-кимериджской слабопроницаемой толщи. Следовательно, центральная часть Клепиковского прогиба является гидрогеологическим окном, сформированным в результате проявления тектонического фактора.

Анализ карты гидроизопьез касимовского комплекса, построенной по результатам съемочных работ [2–4], показывает, что к центральной части Клепиковского прогиба приурочена область с относительно пониженной пьезометрической поверхностью. Замеры уровня подземных вод в скважинах показывают, что в пределах прогиба происходит разгрузка подземных вод касимовского водоносного комплекса в вышележащий мезокайнозойский комплекс. Результаты термометрических исследований, проведенных на территории Мещерской низменности (фондовые материалы), также подтверждают, что в области развития гидрогеологического окна происходит разгрузка подземных вод касимовского водоносного комплекса в вышележащие отложения. При этом характер термоизогипс указывает на возможную разгрузку здесь и нижезалегающего подольско-мячковского водоносного комплекса.

По результатам гидрогеохимического опробования, проведенного в ходе съемочных работ [2–4], подземные воды подольско-мячковского комплекса преимущественно гидрокарбонатно-сульфатные, от пресных до солоноватых (сухой остаток 0,83–3,2 г/л, в среднем — 1,6 г/л). Воды касимовского комплекса преимущественно гидрокарбонатные, реже сульфатно-гидрокарбонатные, пресные (значения сухого остатка составляют 0,24–0,63 г/л, в среднем — 0,39 г/л). Сульфатно-гидрокарбонатный состав отмечается в области развития гидрогеологического окна. Здесь же отмечаются относительно повышенные значения минерализации, общей жесткости и соответственно содержания сульфатов для касимовского комплекса, что указывает на разгрузку из нижезалегающего подольско-мячковского.

Результаты проведенного комплексного анализа позволили установить, что в центральной части Клепиковского прогиба сформировано гидрогеологическое окно, обусловленное проявлением тектонического фактора. За счет развития разрушений происходит разгрузка подземных вод карбона в вышележащие грунтовые водоносные горизонты мезокайнозоя.

Использованные источники

1. Глухова С.А., Суханова Т.В., Пинигин О.В., Харитонов Н.А. Гидрогеологические условия Мещерской впадины и их связь с новейшей тектонической структурой региона // Вест. Моск. ун-та. Сер. 4: Геология. — 2024. — №4. — С. 25–34.
2. Кабанов Ю.Н., Меньшенин О.А., Шик Е.М. Государственная гидрогеологическая карта СССР. Масштаб 1:200 000. Серия Московская. Лист N-37-IV — Шатура. Объяснительная записка. — М.: ПГО «Центргеология». — 1987. — 167 с.
3. Квятковская Г.Н. Гидрогеологическая карта СССР. Масштаб 1:200 000. Серия Московская. Лист N-37-XI — Тума. Объяснительная записка. — М.: ПГО «Центргеология». — 1981. — 111 с.
4. Лачинова Н.С. Гидрогеологическая карта СССР. Масштаб 1:200 000. Серия Московская. Лист N-37-V — Судогда. Объяснительная записка. — М.: ПГО «Центргеология». — 1981. — 105 с.
5. Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://www.mnr.gov.ru/press/hot-topic/v_moskovskoy_oblasti_v_2024_godu_likvidiruyut_shest_krupnykh_poligonov_tko/. (Дата обращения 18.03.2025 г.).
6. Позднякова И.А., Галицкая И.В., Миронов О.К., Костикова И.А., Дорожко А.Л., Батрак Г.И., Матвеева Л.А., Фесель К.И. Выявление гидрогеологических окон на основе крупномасштабного картирования геологического строения и гидрогеологических условий территории г. Москвы // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. — 2015. — № 4. — С. 352–364.
7. Сим Л.А., Михайлова А.В. Разломы осадочного чехла платформ и методы их исследования // Проблемы тектонофизики: К сорокалетию создания М.В. Гзовским лаборатории тектонофизики в ИФЗ РАН. М.: Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН. — 2008. — С. 141–148.
8. Суханова Т.В., Глухова С.А. Новейшая тектоника Мещерской впадины // Материалы Всероссийской конференции с международным участием «Ломоносовские чтения 2024. Секция Геология». — Москва: ООО МАКС Пресс, 2024. — С. 24–26.
9. Федеральное агентство по недропользованию. Справка о состоянии и перспективах использования минерально-сырьевой базы Московской области и г. Москвы на 15.03.2021 г. [Электронный ресурс]. — Режим доступа:

<https://rosnedra.gov.ru/data/Fast/Files/202104/264e74df8617a00d5468f7b79da9d32a.pdf>.
обращения 06.12.2024 г.).

(Дата

МЕТОДИКА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ПО ДАННЫМ КУСТОВЫХ ОПЫТНО-ФИЛЬТРАЦИОННЫХ РАБОТ НА ПРИМЕРЕ АНДРЕЕВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

А. А. Маслов¹

¹ *Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва*

При обосновании плана подсчета эксплуатационных запасов пресных подземных вод Андреевского месторождения в 2024 г. необходимо было учесть всю накопленную гидрогеологическую изученность месторождения, начиная с поисковой стадии 1962-1975 гг, стадии предварительной разведки 1981-1985 гг. и стадии детальной разведки 1993 г., а также региональные обобщения, выполненные в 2010 г. при обосновании региональной гидрогеодинамической модели Калужской области в целом.

Расчеты выполнены методом математического моделирования, обусловленным сложностью геолого-гидрогеологических условий Андреевского месторождения подземных вод. Выполнена фильтрационная схематизация, включающая пространственную структуру потока, распределение параметров водовмещающих отложений и задание краевых условий.

Поток подземных вод по водоносным горизонтам (окско-тарусскому, нижнетульскому, упинскому) имеет основное направление в сторону региональной дрены территории р. Ока. На водораздельных пространствах формируются условия для нисходящей фильтрации, а в пределах долины р. Ока формируется разгрузка потока подземных вод путем восходящего перетекания. Гидрогеодинамическое взаимодействие смежных водоносных горизонтов неравномерно по площади, что связано со сложным строением разделяющих слабопроницаемых отложений как верхнетульского, так и бобриковского возраста. Гидрогеологические условия территории также осложняются наличием погребенных долин р. Ока разного возраста. Древняя долина р. Оки, сформировавшаяся в предчетвертичное время, выполнена песками, супесями, суглинками четвертичного периода различного генезиса (

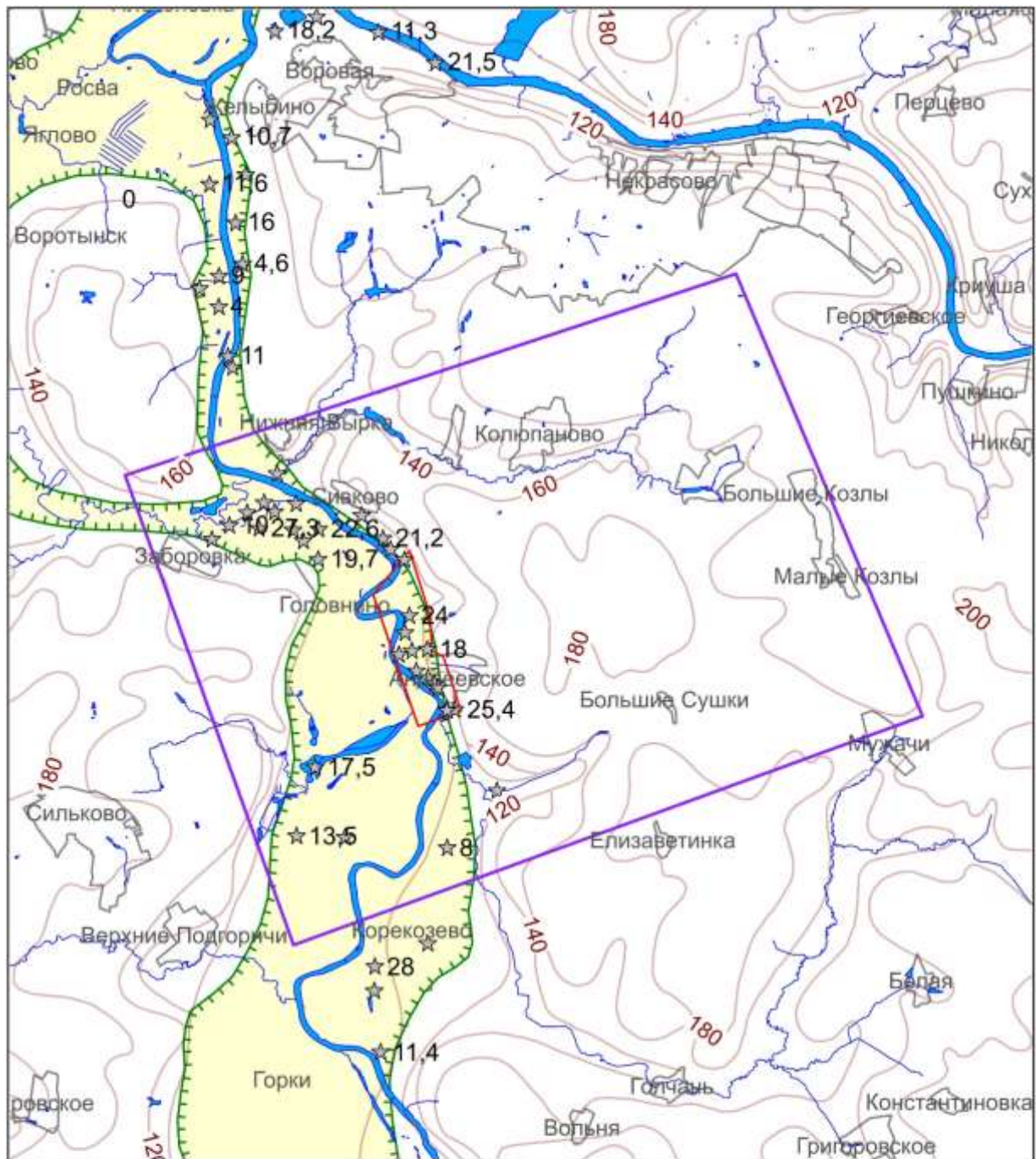
Рис. 6). Погребенная долина средневизейского возраста заполнена преимущественно светло-серыми хорошо сортированными песками, которые формируют нижнетульский водоносный горизонт. Стратификация на водоносные горизонты и разделяющие толщи позволяют упростить расчетную структуру потока и свести ее к квазитрехмерной – с условиями жесткого перетекания между горизонтами через разделяющие толщи.

В модель включаются все гидрогеологические подразделения от четвертичного до упинского водоносного горизонта. Упинский водоносный горизонт подстилается регионально выдержанной относительно водоупорной толщей малевских глин.

Рассматриваемая пространственная структура потока моделируется четырьмя основными водоносными и двумя разделяющими толщами; при этом учитывается различие гидрогеологического строения разреза на водораздельных пространствах и в пределах долины р. Ока (Табл. 1).

Таким образом, продуктивный аллювиально-нижнетульский водоносный комплекс в модели представлен вторым и четвертым расчетным водоносным подразделением, разделенными верхнетульскими относительно слабопроницаемыми отложениями – первым разделяющим слоем (Табл. 1). Фактически продуктивный аллювиально-нижнетульский водоносный комплекс представлен в пределах прадолины Оки.

При составлении гидрогеодинамической модели Андреевского месторождения прежде всего уточняются геофильтрационные параметры продуктивного аллювиально-нижнетульского водоносного комплекса в пределах древней долины Оки, за пределами которой геофильтрационные параметры всех расчетных слоев модели (Табл. 1) принимаются соответствующими региональным построениям. Распределение латерального коэффициента фильтрации продуктивного аллювиально-нижнетульского водоносного комплекса в границах древней прадолины Оки подбиралось в пределах интегральной оценки проводимости 800-



- Участок разведки
- Граница модельного поля
- Изогипсы подошвы четвертичных отложений, м
- Контуры древней, погребенной долины р.Ока, заполненной четвертичными отложениями
- ★ 13,5 Мощность аллювиальных четвертичных отложений по данным бурения, м

900 м²/сут, определенной по результатам интерпретации опытно-фильтрационных работ, коэффициент вертикальной фильтрации принят на порядок меньше планового значения.

Рис. 6. Гипсометрическая карта подошвы четвертичного водоносного горизонта

Табл. 1. Пространственная структура гидрогеодинамической модели

Расчетный слой модели	Долина р. Ока	Межокский водораздел и правобережный склон долины р. Ока	Левобережный склон долины р. Ока
Водоносный слой 1	Современные покровные суглинки		
Водоносный слой 2	Средне-верхнечетвертичный и современный аллювиальный водоносный горизонт	Четвертичные отложения различного генезиса	Четвертичные отложения различного генезиса
Водоносный слой 3	-	Окско-тарусский водоносный горизонт (комплекс)	Окско-тарусский водоносный горизонт (комплекс)
1-ый разделяющий слой	Верхнетульские относительно слабопроницаемые отложения		
Водоносный слой 4	Нижнетульский водоносный горизонт		
2-ой разделяющий слой	Бобриковские относительно слабопроницаемые отложения		
Водоносный слой 5	Упинский водоносный горизонт		

Технологически калибровка модели выполняется путём последовательной целенаправленной корректировки параметров моделируемой водовмещающей среды в пределах древней долины Оки, коэффициента перетока подрусловых отложений для достижения оптимального согласования фактически измеренных и модельных значений уровней в контрольных точках.

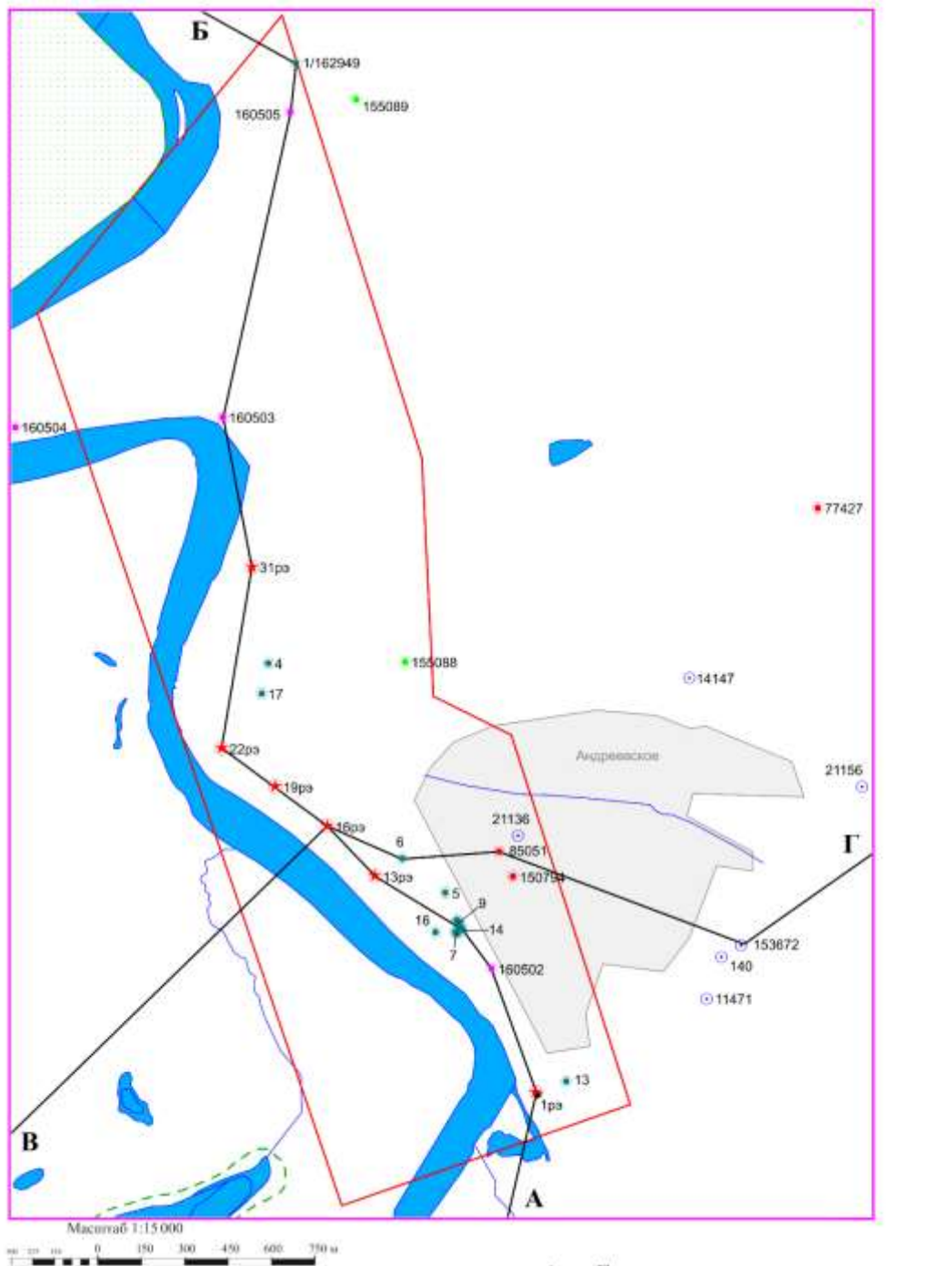
На Андреевском месторождении наиболее информативными для постановки обратной задачи являются данные наблюдений при кустовых откачках, проведенных из скважин 1рэ, 16рэ, 31рэ (Рис. 7), причем из скважины 16рэ в три ступени дебита (с последовательным наращиванием)

продолжительностью по 5 суток каждая. Также учитываются участки снижения при откачках из скважин 13рэ и 19рэ (Рис. 7), при которых велись наблюдения в некоторых скважинах куста 16. В каждом из шести перечисленных опытов достигнут практически устойчивый стационарный режим понижений/повышений уровней, поэтому решение обратной задачи, с учетом прогнозируемого подпертого режима фильтрации подземных вод под рекой и в предположении сохранения инфильтрационного питания неизменным, выполнено в стационарной постановке в понижениях.

Для расчета изменений напора (понижений/повышений) выполнено решение без нагрузки. В ходе решения для каждого опыта фиксировались полученные модельные величины напора, по которым вычислялись модельные понижения уровней в блоках расположения наблюдательных скважин; кроме того, фиксировались также понижения в блоках расположения водозаборных скважин. Для действующей в текущем опыте центральной скважины рассчитывалась поправка ΔS (с учётом текущей величины дебита), которая добавлялась к полученному на модели значению понижения в блоке.

Основными индикаторами согласования при корректировке параметров модели являются понижения уровней в наблюдательных скважинах и в эксплуатационных скважинах, не действовавших в текущем опыте, то есть количество контрольных точек составляло от 15 (на 2-ой и 3-ей ступени откачки из скважины 16рэ) до 5 при опыте в скважине 19рэ. Решение всех шести обратных задач (каждая соответствует одному из шести перечисленных опытов) осуществлялось одновременно.

Среднее отклонение модельных понижений от фактически наблюдавшихся в наблюдательных (и не активных эксплуатационных) скважинах во всех опытах составляет от -1,5 до 2,15 м при средних понижениях от 1 до 3,5 м. Две точки с наибольшими отклонениями отвечают затрубной скважине 31н и скважине 1/1а, входящими в область ближайших скважин, для которых влияние прискважинной зоны центральной скважины может быть существенным, при их исключении отклонение составит от -1,5 до 0,72 м (Рис. 8).



- Участок разведки
- Скважины и их номер:**
 Гидрогеологические Андреевского участка для водоснабжения г.Калуги:
- Поисковые, 1975 г.
 - Разведочные предварительной разведки, 1983-1985 гг.
 - Разведочные детальной разведки, 1990-1993 гг.
 - ★ Разведочно-эксплуатационные текущих работ
- Прочие скважины:**
- Разведочные на различные полезные ископаемые и картировочные
 - Эксплуатационные на воду разных лет
- А Б** Линии геолого-гидрогеологических разрезов

Рис. 7. Гипсометрическая карта подошвы четвертичного водоносного горизонта

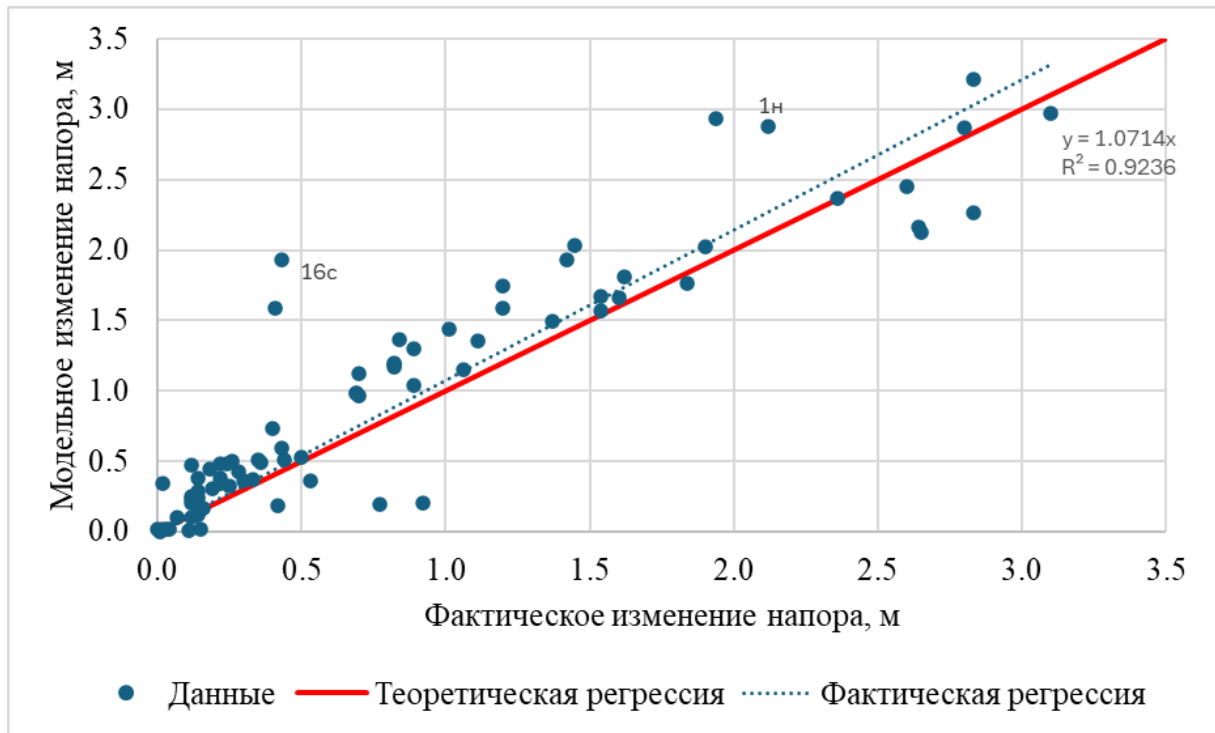


Рис. 8. Регрессия модельных и натуральных изменений напора по опытным данным, исключая скважины 31н и 1/1а

Результаты калибровки параметров представлены в Табл. 2.

Табл. 2. Результаты калибровки параметров модели

Параметр	Значение
Коэффициент фильтрации, м сут	
Покровные суглинки	1
Аллювиальный водоносный горизонт под руслом реки Ока	16,37
Аллювиальный водоносный горизонт в пределах прадолины Оки	14,84
Суглинки, разделяющие аллювий и нижнетульские пески	0,003
Нижнетульский водоносный горизонт в пределах прадолины Оки	10
Бобриковские глины в пределах прадолины Оки	0,013
Коэффициент перетока подрусловых отложений, сут ⁻¹	
Река Ока	1,64
Реки Высса, Вырка, Желовь и Сушка	0,00818
Площадные поверхностные водные объекты: пруд на реке Вырка, озеро Тишь, озеро Тороповское	0,032

В результате получена фильтрационная схема, удовлетворительно учитывающая весь накопленный фактический материал полевых опытно-фильтрационных работ, что позволило выполнить прогнозную оценку плана подсчета запасов пресных подземных вод.

АНАЛИЗ ФОРМИРОВАНИЯ КАНАЛОВ С АНОМАЛЬНО НИЗКИМ ФИЛЬТРАЦИОННЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ В ТЕРРИГЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ВИКУЛОВСКОЙ СВИТЫ НА ПРИМЕРЕ ОДНОГО ИЗ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КРАСНОЛЕНИНСКОГО СВОДА

А.С. Редькин¹

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

Трассерные исследования являются одним из основных методов достоверной оценки фильтрационной неоднородности межскважинного пространства, в ходе которого выявляются так называемые каналы с низким фильтрационным сопротивлением (НФС), их объемы, скорости фильтрации и проницаемость. Формирование каналов НФС довольно распространенный процесс, с которым связывают преждевременную обводненность добывающих нефтяных скважин. При этом установлена его необратимость [1], что подчеркивает особую значимость и необходимость дальнейшего изучения данного явления.

Анализ проводится на примере трассерных исследований на одном из месторождений Красноленинского свода. В нагнетательную скважину пакетным запуском закачивалось индикаторное вещество – карбамид, затем в добывающих скважинах отбирались пробы. Как правило, большинство графиков концентрации меченного вещества от времени имеют пикообразный характер, с единичными изолированными друг от друга прослоями (Рис. 2). Максимальные скорости фильтрации, оценённые по методике РД - 39-0147428-235-89 [6], составили от 808 до 56 метров в сутки. Все каналы можно разделить на 2-3 группы. В каналы первой-второй групп трассер поступает через несколько суток, а в каналы 3-ей группы – через 2-3 месяца.

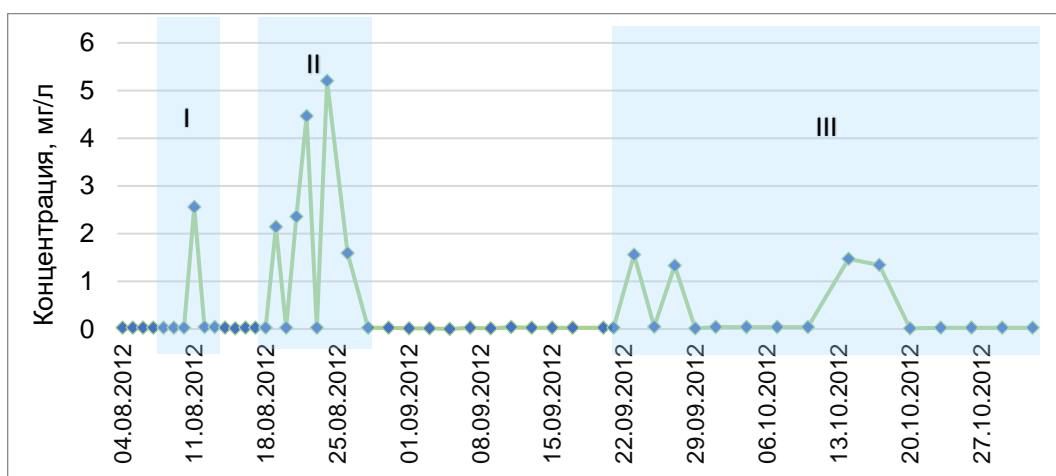


Рис. 2. Графики концентрации индикаторного вещества в добывающей скважине

Выдвигаются два основных предположения о том, как могли сформироваться каналы с подобными скоростями фильтрации. Основными причинами выделяют: 1) давление нагнетания, превышающее давление авто-ГРП и периодические остановки скважин, в ходе чего формируется разветвленная сеть техногенной трещиноватости; [2] 2) формирование высокопроницаемых прослоев в результате устойчивой фильтрации по высокопроницаемым зонам [4].

В данном исследовании выполнен анализ формирования каналов с аномально низким фильтрационным сопротивлением на примере викуловских отложений Красноленинского свода, имеющих морской генезис. Осадки нижней части свиты накапливались на этапе регрессивного цикла развития и представлены алевролитами, песчаниками с прослоями глин и глинистых известняков. Верхняя часть свиты накапливалась после смены цикла на трансгрессивный и представлена алевролитами с прослоями глин, песками и глинистыми песчаниками. Нефтеносность связана преимущественно с мелководно- и прибрежно-морскими песчаниками пластов ВК₁, ВК₂ и ВК₃, характеризующимися значительной протяженностью [3]. До 2000-х они

не разрабатывались, так как имеют сравнительно невысокую проницаемость, однако позднее их освоение началось с активным использованием технологии гидроразрыва (ГРП).

На текущий момент разработка данных отложений длительное время ведется в результате повсеместно проведенного гидроразрыва пласта, что привело к значительному снижению минимального горизонтального (σ_{\min}) и максимального горизонтального напряжений (Рис. 3). В то же время на месторождении установлен режим разработки при высоких забойных давлениях в нагнетательных скважинах, и высоких градиентов давления между нагнетательной и добывающей скважинами, достигающими величины 2. В результате чего вероятно формируется разветвлённая техногенная сеть микротрещиноватости.

Забойные давления в нагнетательных скважинах составляют порядка 26 МПа, а в добывающих – 4 МПа. Предварительные расчеты вероятности формирования трещины авто-ГРП по формуле: $P_b \approx 3S_{H\min} - S_{H\max} - P_p + T_0$ [8], показывают что трещины не удлиняются в область добывающих скважин от нагнетательных в связи с очень низкими поровым давлениями, но максимальные скорости фильтрации от нескольких сотен метров в сутки по каналам НФС первой группы – являются следствием данной трещиноватости.

Распределение фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) на гидродинамических моделях нефтяных месторождений как правило выполняется посредством детерминистского подхода, при котором происходит некое закономерное распределение свойств по всей модели с размерами ячеек 100x100 метров. Ранее выполненные модельные расчеты скорости миграции трассера на детерминистской модели показали, что время достижения (миграции) до добывающей скважины составляет от полугода до нескольких лет [5]. Однако при стохастическом подходе к моделированию ФЕС высокогетерогенных пористых сред, которой является викуловская свита, имеющая микрослоистое строение, в результате превышения критического уровня неоднородности сеток возможно формирование устойчивых каналов фильтрации [1].

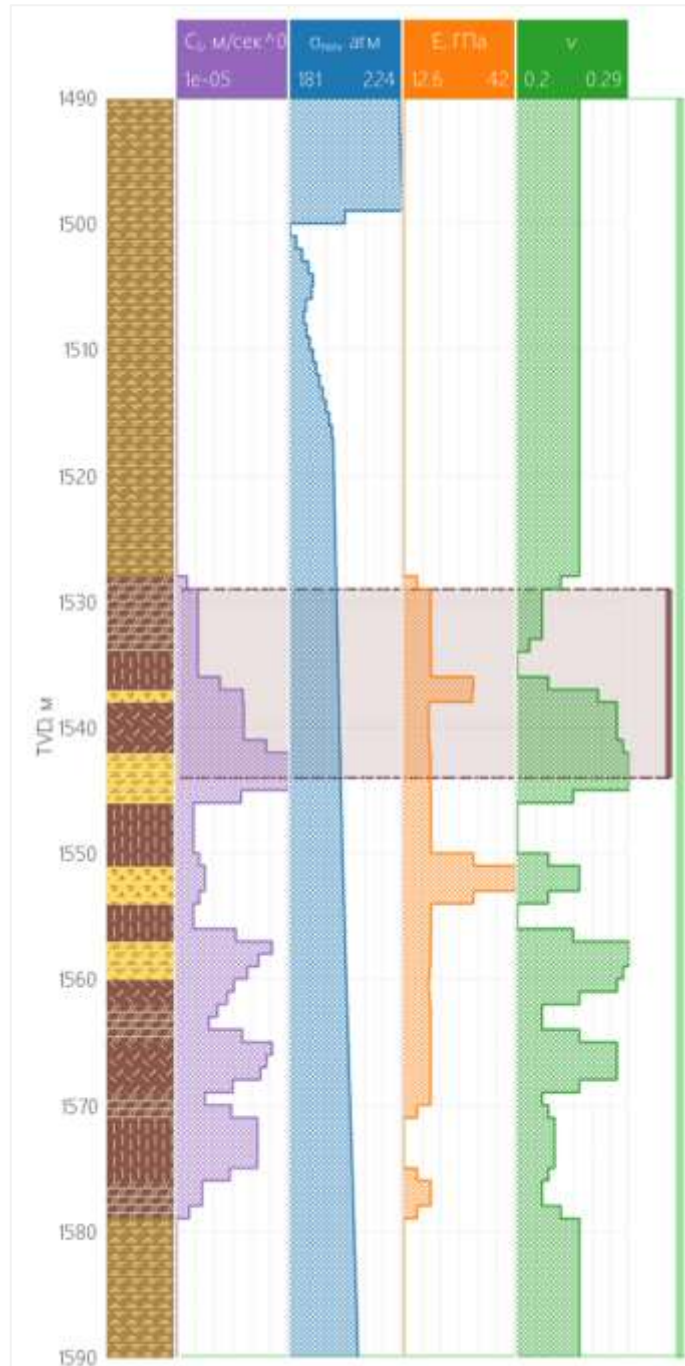


Рис. 3. Планшет литологии исследуемого интервала пласта ВК₁₋₃

Для отложений викуловской свиты была построена тестовая однослойная сетка проницаемости с размером ячеек 50x50 метров стохастическим методом - Sequential Gauss Simulation (SGS) со средним значением проницаемости – 25, стандартным отклонением – 49 мД и эффективным радиусом корреляции – 150 метров. При моделировании трассера на данной сетке выявляются сгущенные линии тока, соответствующие устойчивым каналам фильтрации по высокопроницаемым прослоям (Рис. 4) с проницаемостями до 152мД, при средней 25мД и скоростями прихода трассера к добывающей скважине, близкими к фактическим по каналам фильтрации III группы.

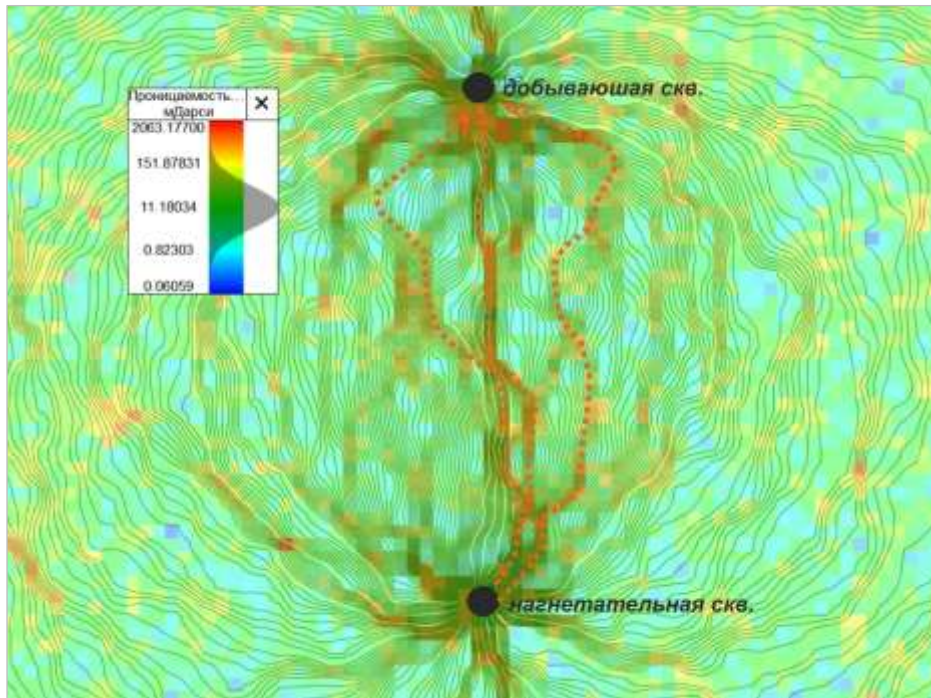


Рис. 4. Линии тока в модели с проницаемостью, рассчитанной стохастическим методом (SGS)

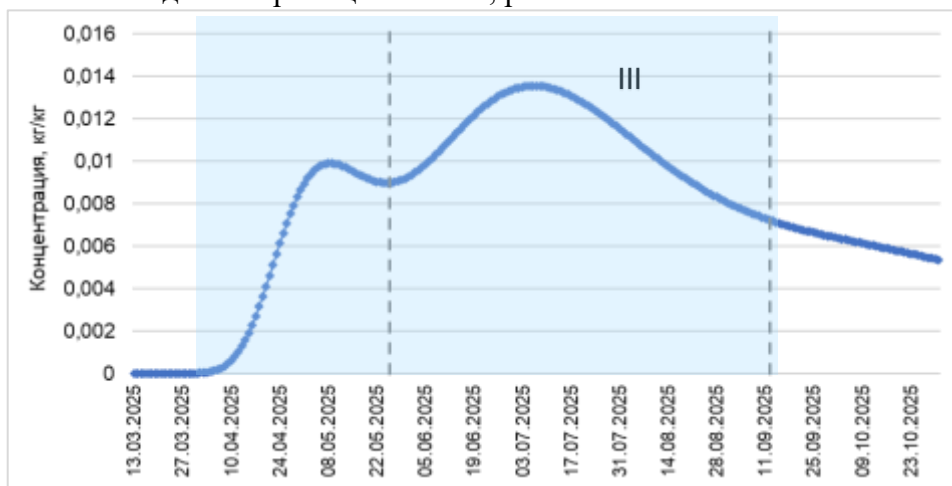


Рис. 5. График модельной концентрации трассера в добывающей скважине

Таким образом, в ходе данного исследования установлено, что формирование каналов НФС обусловлено: 1) высокими давлениями нагнетания, вдвое превышающими начальное пластовое давление; 2) высокой гетерогенностью коллектора викуловской свиты, в которой формируются устойчивые каналы фильтрации, подтвержденные результатами моделирования. 3) для сложных гетерогенных сред стохастический подход дает лучшую сходимость результатов трассерных исследований. 4) Каналы НФС 1-2 групп (первые сутки) связаны с трещинами авто-ГРП, а третьей (от первых месяцев) с поровыми каналами.

Использованные источники

1. Гайдуков Л. А. Особенности фильтрации жидкости в гетерогенных пластах со случайной проницаемостью / Л. А. Гайдуков, Д. В. Посвянский // Тюмень 2024. Актуальные тренды научно-технологического и операционного развития нефтегазовой отрасли: Сборник материалов 8-й научно-практической конференции, Тюмень, 23–25 сентября 2024 года. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью "Геомодель Развитие", 2024. – С. 41-45.
2. Изотов А. А. Афонин Д.Г. О техногенной трансформации продуктивных пластов вследствие повышенного давления нагнетания при заводнении // Нефтепромысловое дело. – 2021. – № 5(629). – С. 18-25.

3. Коробова Н.И., Шевчук Н.С., Карнюшина Е.Е., Сауткин Р.С., Краснова Е.А. Особенности состава и строения продуктивных отложений викуловской свиты Красноленинского свода и их влияние на фильтрационно-емкостные свойства. Георесурсы. 2023;25(2):105-122.
4. Медведский Р.И. Концепция струйного вытеснения нефти водой // Вестник Удмуртского университета. – 2002. - №9. – С. 121-129.
5. Обобщение индикаторных (трассерных) исследований на месторождениях Западной Сибири / А. С. Трофимов, С. В. Бердников, Н. Р. Кривова [и др.] // Территория Нефтегаз. – 2006. – № 12. – С. 72-77.
6. РД 39-3-1291-85 «Индикаторный способ контроля за разработкой и заводнением нефтяных и нефтегазоконденсатных залежей». Грозный, СевКавНИПИнефть, 1986г.
7. Редькин А. С., Корзун А. В., Шарунов Н. В. Использование результатов трассерных исследований для адаптации гидродинамических моделей нефтяных месторождений // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. — 2024. — Т. 4, № 4. — С. 35–44.
8. Zoback M. D. Reservoir geomechanics. – Cambridge university press, 2010.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВАРИОГРАММЫ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ ВЕСОВЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПРИ КАЛИБРАЦИИ ГЕОФИЛЬТРАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

В. Н. Самарцев¹

¹ *Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва*

Рассматривается крупный водозабор, расположенный в Республике Северная Осетия – Алания в пределах Осетинского артезианского бассейна. Проектный водоотбор составляет 78 685 м³/сут, в перспективе возможно увеличение до 155 525 м³/сут при строительстве второй очереди водозабора.

Особенностью объекта является совместная эксплуатация двух верхних водоносных комплексов. Первый - ниже-верхнеплейстоценовый иллювиально-флювиогляциальный водоносный комплекс (afQ_{I-III}). Водовмещающей является мощная толща валунно-гравийно-галечниковых отложений с песчаным и песчано-глинистым заполнителем. Мощность водовмещающих пород колеблется от 50 до 200 м. Второй - плиоцен-эоплейстоценовый (N2²-Q_{Еар}). Водовмещающими породами являются валунно-галечниковые отложения с песчаным или песчано-глинистым заполнителем, реже конгломераты и песчаники с прослоями песков. Полная мощность на участке водозабора составляет от 1000 до 1200 м. При этом, ее вскрытая мощность составляет порядка 200 м.

Толща, разделяющая два рассматриваемых комплекса, представлена выдержанным прослоем глин эоплейстоценового возраста, мощность которых принята равной 10 м.

Более глубокие водоносные горизонты не рассматриваются, поскольку отделены выдержанным региональным водоупором. Отметка напора второго горизонта на 11-12 м превышает отметку поверхности земли. За счет этого превышения предполагается использовать самоизлив из скважин: часть расхода будет обеспечиваться самоизливом из второго горизонта, оставшаяся для покрытия потребности часть расхода будет отбираться из первого горизонта стандартными центробежными насосами. При этом принципиально важным является учет перетекания между двумя эксплуатируемыми горизонтами. При высоком водоотборе из первого горизонта ожидается также и снижение напора во втором горизонте за счет площадного перетекания, которое, в свою очередь, приведет к уменьшению потенциального расхода самоизлива или даже к его прекращению. По этой причине, для учета взаимного влияния отбора воды из двух горизонтов, а также взаимного влияния с прочими, уже существующими водозаборами, разработана численная геофильтрационная модель.

Модель охватывает территорию, которая в той или иной степени участвует в питании целевых водоносных горизонтов. Все внешние границы приняты непроницаемыми, построены по водоразделам (Рис. 1).

Разрез схематизирован тремя расчетными слоями: 1) ниже-верхнеплейстоценовый комплекс; 2) толща эоплейстоценовых глин; 3) плиоцен-эоплейстоценовый комплекс. При этом третий слой вскрыт только частично, его полная мощность точно не определена. При этом, для него ожидается сохранение напорного режима на весь прогнозный период. По этой причине основным расчетным параметром является проводимость, мощность условно принята равной 200 м. Кроме того, в третий расчетный слой включены более древние отложения, выходящие на поверхность на северном склоне Скалистого хребта. Этот участок включен для учета общего баланса артезианского бассейна, однако непосредственно изыскания там не проводились, и значения фильтрационных параметров южного участка не отделены от основной площади модели.

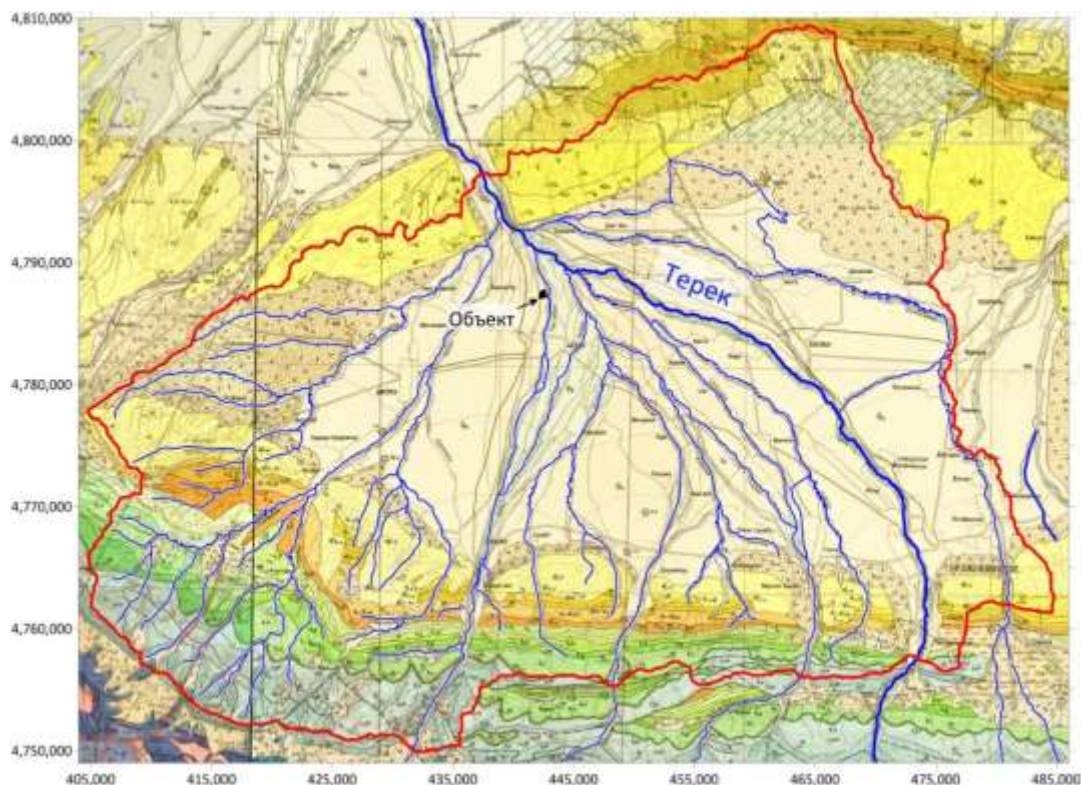


Рис. 1. Принятые внешние границы модели

В пределах расчетной области известно 196 действующих водозаборных скважин, эксплуатирующих четвертичный водоносный комплекс (слой 1), и 119 скважин, эксплуатирующих плиоцен-эоплейстоценовый водоносный комплекс (слой 3). Суммарный фактический водоотбор составляет 156,2 тыс. м³/сут, разрешенный водоотбор – 333,5 тыс. м³/сут. Таким образом, проектный дебит нового водозабора сопоставим с суммарным водоотбором всех действующих в пределах Осетинской равнины водозаборов.

Важнейшими расчетными параметрами является инфильтрационное питание и коэффициенты фильтрации (или проводимости) расчетных слоев.

Величину инфильтрационного питания можно оценить по модулю подземного стока, который приблизительно соответствует результирующему питанию подземных вод. Модуль подземного стока, в свою очередь, можно определить по величине меженного стока р. Терек, который является основной дренажной в рассматриваемом бассейне. Для этого использованы режимные наблюдения по двум гидропостам – у г. Владикавказ и у ст. Котляревская (данные получены из Автоматизированной информационной системы государственного мониторинга водных объектов, доступна по адресу <https://gmvo.skniivh.ru>). Наблюдения по этим гидропостам отражают разные условия: пост у г. Владикавказ является замыкающим для горной части бассейна Терека, далее река протекает в равнинных условиях. В соответствии с рассчитанными модулями подземного стока в горной области инфильтрационное питание задано равным 105 мм/год, на равнине инфильтрационное задано равным 230 мм/год.

Проводимость первого расчетного слоя изучена плохо. По результатам выполненных одиночных откачек проводимость составляет от 6500 до 54000 м²/сут при мощности до 170 м. Такие значения представляются сомнительными, учитывая наличие песчано-глинистого заполнителя в четвертичных отложениях.

В значении проводимости второго водоносного комплекса также есть существенные расхождения. По результатам изысканий и по опыту эксплуатации ближайших водозаборов (расположенных к востоку от проектного) проводимость равна 1600–2000 м²/сут. По результатам ОФР на проектном водозаборе проводимость превышает 6000 м³/сут. Такая разница может быть обусловлена как действительно существующей неоднородностью (масштаб которой неизвестен), так и какими-либо недостатками выполненных ОФР. Таким образом, параметры питания

представляются более обоснованными, тогда как фильтрационные параметры требуется уточнить с помощью калибровки модели.

Для калибровки модели использованы одиночные замеры статических уровней воды по известным водозаборным и наблюдательным скважинам, всего 159 скважин. В ряде случаев в близко расположенных скважинах существенно различаются абсолютные отметки статического напора. Этому может быть несколько объяснений: разные скважины могут вскрывать разные горизонты в пределах одного комплекса; замеры выполнены в разное время; измерены и записаны динамические уровни под видом статических.

Подобные противоречия в известных отметках уровней ограничивают ожидаемую точность воспроизведения фактических уровней на модели. Для оценки погрешности, заложенной в имеющихся замерах уровней, построена вариограмма абсолютных отметок напора (рис. 2). Вариограмма построена только для четвертичного водоносного комплекса, поскольку он имеет более равномерное распределение точек измерения в плане.

Если колебания величины закономерны и случайны, то линия графика должна выходить из начала координат. В данном случае это не так. Сравнительно небольшое количество точек измерения обуславливает не закономерную форму вариограммы, и лучше всего она описывается линейной зависимостью. При этом заметно, что даже по ближайшим точкам существует ненулевая дисперсия значений.

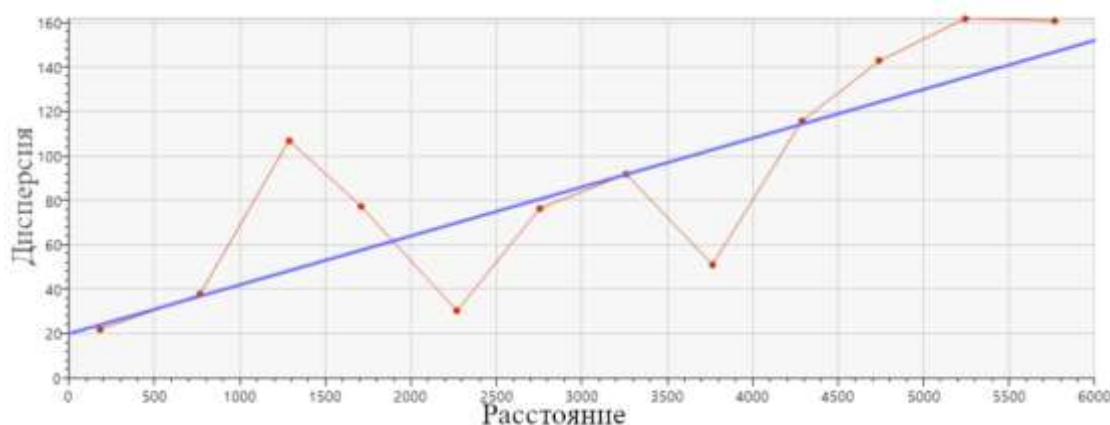


Рис. 2. Вариограмма отметок уровней нижне-верхнеплейстоценового комплекса

Такая ситуация характеризуется так называемым «эффектом самородка» (*“nugget effect”*), который свидетельствует о наличии случайных отклонений, не объясняемых пространственной структурой данных. Его величина в некотором смысле является мерой погрешности исходных данных. Численно эффект самородка – это дисперсия исходных данных, наблюдаемая на небольших расстояниях, менее первого шага вариограммы (в данном случае 200 м). В данном случае эффект самородка составляет 20 м. Такой эффект самородка соответствует стандартному отклонению $\sqrt{20} = 4,47$ м. Это, в некотором смысле, минимальная величина, на которую ожидается отклонение расчетных напоров от фактических. Если невязки между расчетными и фактическими напорами будут составлять не более 4,47 м, то такие невязки, скорее всего, обусловлены погрешностями не модели, а фактических замеров. Здесь следует отметить, что калибровка будет признана успешной при больших средних невязках, поскольку указанная величина невязки в 4,47 м является минимально возможной в идеальном случае.

Сопоставление отметок напоров на участке проектируемого водозабора свидетельствует о погрешности порядка 1 м. Это соотношение может быть использовано для обоснования весовых коэффициентов замеров, использованных для калибровки модели. Как известно [1], весовые коэффициенты для замеров должны быть обратно пропорциональны их дисперсии. В данном случае соотношение весовые коэффициенты для собственных замеров на участке проектируемого водозабора должны быть приблизительно в 20 раз больше, чем для замеров в других скважинах. В общем случае, при необходимости, весовые коэффициенты напоров на участке проектируемого водозабора могут быть еще повышены, чтобы отразить сравнительно

большую важность правильного расчета напоров именно на участке прогноза. Для оценки наиболее подходящих весовых коэффициентов калибровка была выполнена пять раз с различным их сочетанием. Наилучшим было признано следующее распределение: весовой коэффициент основной части замеров равен 1 м^{-2} ; весовой коэффициент замеров на ближайших водозаборах равен 3 м^{-2} ; весовой коэффициент замеров на участке проектируемого водозабора равен 10 м^{-2} .

Но даже наилучший результат калибровки неудовлетворителен. По формальным показателям средняя невязка равна 5,36 м; стандартное отклонение невязок равно 13,93 м. Такие показатели свидетельствуют о том, что модель некорректно воспроизводит известные уровни. Однако, в данном случае важнее плановое распределение невязок. Наблюдается закономерная ошибка, которой не должно быть на модели, правильно воспроизводящей существующие поток подземных вод. В восточной части расчетной области модельные уровни стабильно ниже фактических. На западе модельные уровни стабильно выше фактических, при этом по отдельным скважинам невязки превышают 30 м.

Такая картина говорит о том, что принятая схема однородных коэффициентов фильтрации не позволяет воспроизвести известные уровни, и модель, основанная на этой схеме, не может быть успешно откалибрована. Необходимо скорректировать фильтрационную схему, приняв некоторую фильтрационную неоднородность. Очевидно, на востоке коэффициент фильтрации и проводимость должны быть понижены (что приведет к росту расчетных уровней), а на западе, наоборот, повышены (что приведет к снижению расчетных уровней). Водоносные комплексы весьма неоднородны, однако и мелко- и крупномасштабная неоднородность слабо изучены. По этой причине предлагается возможно более простая фильтрационная схема – для первого и второго водоносных комплексов выделены две зоны, западная и восточная. При этом сохраняется проблема выделения границы между этими двумя зонами ввиду отсутствия геологического обоснования ее положения. Исходя из преимущественно аллювиального генезиса отложений, можно предположить, что фильтрационные свойства пород изменяются по направлению с запада на восток и сохраняются вдоль долин рек. Соответственно, при выделении двух зон ориентация границы между ними должна быть субмеридиональной, но положение границы остается неизвестным. Для выбора прогнозной схемы неоднородности использован следующий подход. Предложено три варианта положения границ между зонами (см. рис. 3):

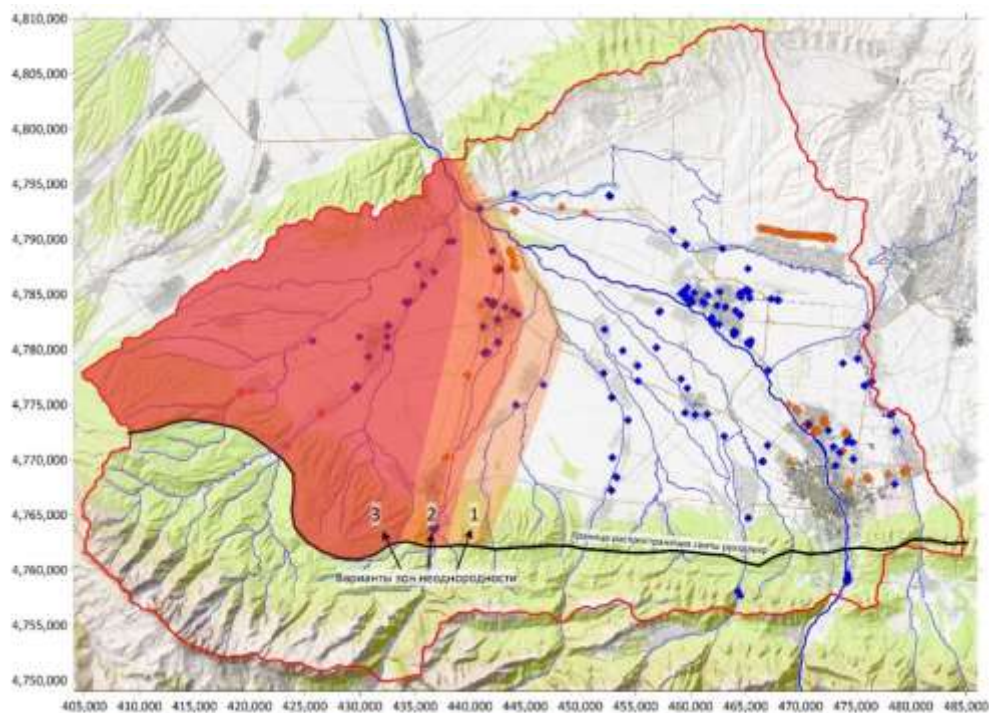


Рис. 3. Предлагаемые варианты границы между зонами неоднородности.

Каждый из вариантов калибруется по отдельности, после чего выбирается вариант, для которого итоговые невязки оказались наименьшими. В результате оптимальным был признан средний вариант, в котором граница зон с различными параметрами проходит между участком проектируемого водозабора и соседними. Средняя невязка составила -0,57 м, стандартное отклонение по невязкам 7,6 м. Имея я виду выявленную с помощью вариограммы собственную ошибку замеров в ~4,47 м, а также региональный характер модели, такие показатели невязок были признаны приемлемыми. Разработанная модель далее была использована для расчета прогнозных понижений в рамках оценки запасов подземных вод, и прошла апробацию в ГКЗ.

Использованные источники

1. Hill, M. C. Effective groundwater model calibration: with analysis of data, sensitivities, predictions, and uncertainty / M.C. Hill, C.R. Tiedeman. – John Wiley & Sons, 2006.

Б.А. Шмагин¹

¹*Американский гидрологический институт*

«4.112 Цель Философии - Логическое прояснение Мысли.
Философская работа состоит, в сущности, в разъяснении. ... »
Витгенштейн [1]

Общая гидрогеология, как естественнонаучная дисциплина — это сегмент жизни на Земле, включающий группы людей разных академических профессий, для которых на первом месте получение, осмысление и формулирование знания о воде. Как любая естественная наука Общая гидрогеология находится в постоянном развитии, понять которое возможно применив исторический и философский подходы.

Историческая часть довольно простая для получения исходного материала при существующих возможностях поиска литературы в интернете. Набрал «Современные вопросы из Общей гидрогеологии», первой находкой оказалась книга 1980 года Ланге О.К. и Плотникова Н.И «Научное содержание современной гидрогеологии» [2], выросшая из их же статьи «К вопросу о современном содержании гидрогеологии» [3]. Кроме этой книги довелось познакомиться с определённым количеством книг, главным образом современных учебных пособий, оказавшихся результатом поиска. Собранная литература, могла быть только минимально отражена в списке ссылок.

Следует отметить обратившие внимание монографию «Основы гидрогеологии. Общая гидрогеология, 1980» Е. В. Пиннекера с коллегами [4] и В. А. Всеволожского «Подземный сток и водный баланс платформенных структур» [5]. Первая из названных переведённая на английский, была издана в 1983, несколько раз переиздавалась и до сих пор находится как учебник в университетских библиотеках. Эти книги стали основой для подготовки следующей части - философской.

Философская часть наиболее сложная для краткого изложения, должна быть доступна в рассмотрении таких понятий как модель, язык и общение. Все три понятия взаимосвязаны, что специально дано в названии тезисов как «модель - язык - общение».

Современное состояние постоянно развивающегося знания наиболее рационально провести в формате эссе. В этом формате приводится философский аспект разработок автора, которые соответствуют содержанию выступления, будут даны на слайдах и представлены на сайте [6].

«Мне кажется, что ингредиенты большинства теорий как в области искусственного интеллекта, так и в области психологии были в целом слишком мелкими, локальными и неструктурированными, чтобы объяснить - ни практически, ни феноменологически - эффективность здравого смысла. «Фрагменты» рассуждений, языка, памяти и «восприятия» должны быть больше и структурированы; их фактическое и процедурное содержание должно быть более тесно связано, чтобы объяснить кажущуюся силу и скорость умственной деятельности.» [7].

Это высказывание Минского ещё более актуально для гидрогеологии. Все процессы формирования, питания, движения и разгрузки подземных вод происходят на основе выделенных и описанных иерархическим разномасштабным картографированием геологических структур и воздействием пространственно-временных структур (сезонных и многолетних) в атмосфере (активно разрабатываемое специфическое по видам картографирование).

Основной вопрос развития современной гидрогеологии в концептуальной разработке выделения и модельного описания нечетких пространственно-временных иерархических структур, изучаемых в науке. Есть и другие вопросы.

В предисловии к книге Ланге и Плотникова [2] Е. М. Сергеев написал, что книга несет много вопросов, продуктивное обсуждение которых значительно улучшит научную дисциплину.

Первой такой дискуссией может быть обсуждение концепций разномасштабной фильтрационной схематизации как основы концептуального объединения разных направлений моделирования гидрогеологических объектов и процессов.

Использованные источники

1. Витгенштейн, Людвиг. Избранные работы / Пер. с нем. и англ. В. Руднева. М. : Издательский дом «Территория будущего», 2005. - с. 440.
2. Ланге О.К., Плотников Н.И. Научное содержание современной гидрогеологии. Основные понятия и определения. Изд-во МГУ, Москва, с. 95. 1980.
3. Ланге О.К., Плотников Н.И. К вопросу о современном содержании гидрогеологии. В сборнике Вопросы гидрогеологии, Изд-во МГУ, Москва, с. 3-25. 1973.
4. Богданов Г.Я., Борисов В.Н., Караванов К.П., Пиннекер Е.В., Писарский Б.И., Шварев С.Л. Основы гидрогеологии. Общая гидрогеология. Редактор Пиннекер Е.В. Наука, Новосибирск, 1980 г., 233 с.
5. Всеволожский В.А. Подземный сток и водный баланс платформенных структур. Недра, Москва, 1983 г., 167 с.
6. Шмагин Б. А. <https://www.researchgate.net/profile/Boris-Shmagin/research>
7. Marvin Minsky, M. A Framework for Representing Knowledge. MIT-AI Laboratory Memo 306, June, 1974. Reprinted in *The Psychology of Computer Vision*, P. Winston (Ed.), McGraw-Hill, 1975. Shorter versions in J. Haugeland, Ed., *Mind Design*, MIT Press, 1981, and in *Cognitive Science*, Collins, Allan and Edward E. Smith (eds.) Morgan-Kaufmann, 1992 ISBN 55860-013-2]