

Интерпретация результатов опытно-фильтрационных работ с применением метода математического моделирования для обоснования параметрической базы численной геофильтрационной модели

Дано обоснование параметрической базы математической модели многослойной системы, состоящей из гидравлически связанных водоносных горизонтов. Проанализированы результаты интерпретации откачки по аналитическим зависимостям. Установлено, что их использование в сложных геолого-гидрогеологических условиях упрощает схематизацию участка недр и делает полученные гидрогеологические параметры сильно обобщенными. Наиболее эффективным способом определения всех геофильтрационных параметров является воспроизведение опыта на математической модели. Приводятся описание структуры математической модели, созданной на базе пакета Processing Modflow (v.8.0), методика интерпретации откачки с использованием численного моделирования, сравнительная характеристика параметров, полученных в результате численной и аналитической обработки, и основные результаты.

Ключевые слова: *математическое моделирование, оценка запасов подземных вод, опытно-фильтрационные работы, геофильтрационная модель, Калининградская область.*

A. V. SEMENCHUK (JSC "North-West PGA")

Interpretation of the results of experimental filtration work using the mathematical modeling method to justify the parametric base of the numerical geofiltration model

The purpose of this research is to substantiate the parametric base of the mathematical model of a multilayer system consisting of hydraulically coupled aquifers. The article analyzes the results of the interpretation of pumping out using analytical methods. It was found that their use in complex hydrodynamic conditions simplifies the schematization of the work area. This makes the obtained hydrogeological parameters highly generalized. The most effective way to determine all geofiltration parameters is to reproduce the experience on a groundwater flow model. The article describes the structure of the numerical model created on the basis of the Processing Modflow package (v.8.0), the technique for interpreting the pumping using numerical simulation, the comparative characteristics of the parameters obtained as a result of numerical and analytical processing, and the main results.

Keywords: *numerical modeling, estimation of groundwater resource, pumping tests, groundwater flow model, Kaliningrad region.*

Введение. Целью опытно-фильтрационных работ (ОФР) является определение гидрогеологических параметров, используемых в дифференциальных уравнениях, описывающих движение подземных вод. На практике интерпретация результатов ОФР, как правило, осуществляется с помощью аналитических зависимостей, предполагающих сведение природных гидрогеологических условий к сильно упрощенным расчетным схемам. Полученные таким образом эффективные параметры не всегда корректны для численного моделирования, предназначенного для более гибкой геофильтрационной схемы. Разнообразие гидрогеологических условий и сложный характер формирования режима подземных вод при опытном опробовании требуют обязательного анализа и интерпретации результатов ОФР [1].

В тех случаях, когда требуется более полный анализ геофильтрационного процесса, следует переходить к обработке откачек с помощью метода математического моделирования [6]. Особенно

это актуально для обоснования параметров в условиях перетекания из смежных водоносных горизонтов (ВГ) и связи пресных подземных вод с солеными водами морских заливов.

Территория г. Балтийск Калининградской области с запада омывается водами Гданьского залива, с востока Калининградского залива, с юга Калининградского судоходного канала (рис. 1). Гидродинамические условия осложнены наличием здесь палеодолины, выполненной отложениями окско-вологодского горизонта, воды которого в районе вреза образуют единую уречную поверхность с подземными водами среднепалеогенового алкского ВГ [7].

Учесть такое количество факторов в полной мере не позволяет ни один аналитический метод интерпретации результатов ОФР. Следовательно, использование аналитических зависимостей в подобных случаях упрощает схему условий и делает полученные гидрогеологические параметры весьма обобщенными.

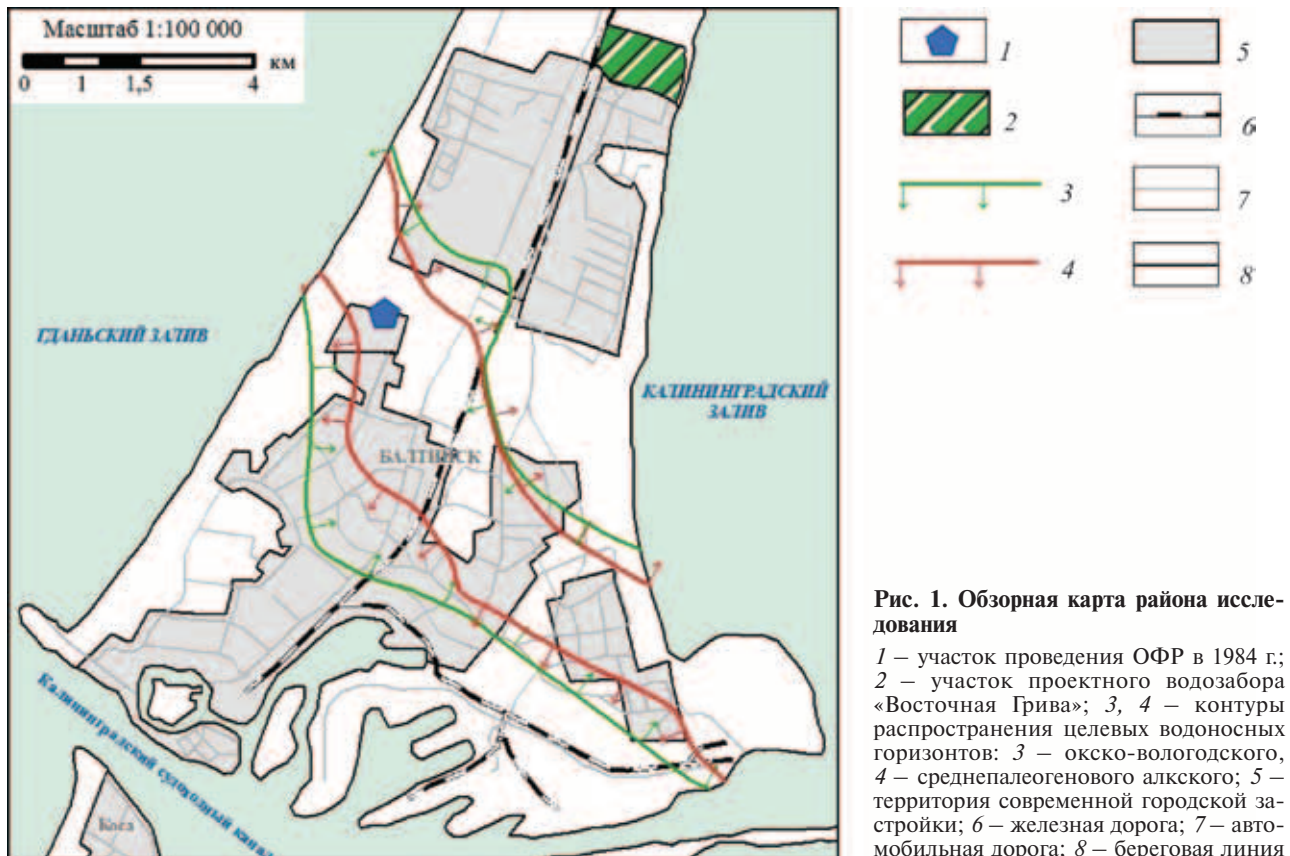


Рис. 1. Обзорная карта района исследования

1 – участок проведения ОФР в 1984 г.; 2 – участок проектного водозабора «Восточная Грива»; 3, 4 – контуры распространения целевых водоносных горизонтов: 3 – окско-вологодского, 4 – среднепалеогенового алкского; 5 – территория современной городской застройки; 6 – железная дорога; 7 – автомобильная дорога; 8 – береговая линия

Гидрогеологические условия. Основным источником хозяйственно-питьевого водоснабжения рассматриваемого района являются подземные воды Прибалтийского артезианского бассейна (ПАБ). Верхняя часть разреза его осадочного чехла представлена четвертичной толщей, образовавшейся в процессе оледенений. Поэтому характерной особенностью этой части разреза является наличие густой сети троговых (погребенных) долин – ледниковых образований, возникающих при продвижении ледников и последующем их отступании [4].

Региональная оценка эксплуатационных запасов подземных вод ПАБ показала, что для многих крупных водозаборов на побережье Балтийского моря существует реальная опасность подтягивания соленых морских вод. Характер взаимосвязи в системе море – подземные воды определяется геологическими условиями выходов водоносных и водоупорных горизонтов в море, а также гидродинамическими особенностями контакта поверхностных и подземных вод [3]. Специальные гидрогеологические исследования и наблюдения, посвященные вопросам граничных условий в пределах акватории Балтийского моря, имеют весьма отрывочный характер, поэтому особенно актуальна детальная диагностика результатов ОФР, полученных в прибрежной зоне.

Схема гидрогеологических условий дается по результатам проработки и анализа фактического материала. Имеющиеся данные позволяют выделить 6 модельных слоев в пределах исследуемого гидрогеологического разреза (табл. 1).

Для подробного литологического описания пород участка проведения опыта использованы результаты лабораторного определения

гранулометрического состава и коэффициентов фильтрации грунтов в разведочных скважинах. Интервал отбора проб рыхлых пород 1–4, связанных пород 1–8 м.

Водовмещающие породы окско-вологодского ВГ в центральной части погребенной долины представлены песчаным материалом с преобладанием в верхней части разреза до глубины 81–90 м частиц диаметром 0,05–0,25 мм более 50 %, рыхлыми отложениями – тонко-мелкозернистыми песками. Ниже по разрезу преобладает (более 50 %) среднезернистая фракция (0,25–0,5 мм) и увеличиваются от 0,9 до 85 % крупнозернистая (0,5–1 мм) и грубозернистая (> 1 мм) фракции. Песчаный материал – средне-крупнозернистые пески. Коэффициент неоднородности от 3 до 10, что позволяет считать отложения в разрезе практически однородными.

Водовмещающие отложения в пределах борта погребенной долины представлены песчаным материалом в основном фракции 0,25 в верхней части разреза, ниже по разрезу мелкозернистыми среднепалеогеновыми песками.

Для суглинков и глин вологодского горизонта относительно ВГ характерна слабая проницаемость. Коэффициенты фильтрации, определенные лабораторным способом, для глин от 0,01 до 0,1 и для суглинков от 0,01 до 0,4 м/сут.

Водовмещающие породы среднепалеогенового ВГ представлены песчаным материалом, в основном частицами диаметром 0,05–0,25 мм, рыхлые отложения – тонко-мелкозернистым песком.

В алевроитах средне-нижнепалеогенового возраста преобладают частицы диаметром 0,05–0,1 мм при содержании пылевой фракции 0,002–0,05 мм от 12,2 до 31,8 %. Коэффициенты фильтрации,

Характеристика гидрогеологических подразделений района исследования

Номер модельного слоя	Горизонт (комплекс)	Индекс	Литологическое описание пород	Степень пригодности для водоснабжения
1 водоносный	Четвертичный надморенный ВК	III-H	Мелко- и тонкозернистые пески с прослоями суглинков и глин	Непригодны
2 водоносный	Вологодско-московский межморенный ВГ	f,lgIIvl-ms	Разнозернистые пески, пески с суглинком	Непригодны
3 водоупорный	Вологодский относительно ВУГ	gIIvl	Суглинки, глины и супеси с содержанием до 20–30 % гравия	—
4 водоносный	Окско-вологодский межморенный ВГ	f, lgIok-IIvl	Разнозернистые пески с галькой, местами суглинки и глины	Используются
	Среднепалеогеновый прусский ВГ	P ₂ pr	Разнозернистые глинистые пески и алевроиты	Не используются
	Среднепалеогеновый алкский ВГ	P ₂ al	Мелко- и среднезернистые пески, алевроиты	Используются
5 водоупорный	Среднепалеогеновый самбийский ВУГ	P _{2sm}	Глины, алевролиты и алевроиты	—
6 водоносный	Верхнемеловой ВГ	K ₂	Трещиноватые мергели и алевроиты	Используются

определенные лабораторным способом, от 0,03 до 0,5 м/сут.

Аналитическая интерпретация результатов ОФР выполнена для кустовой откачки, проведенной сотрудниками Калининградской ГЭ ПГО «Севзапгеология» в 1984 г. в осевой части палеодолины. Опытный куст состоял из одной центральной и пяти наблюдательных скважин (рис. 2). Центральная скв. 11 и наблюдательные скважины 8, 12, 14 и 15 оборудованы на окско-вологодский ВГ, наблюдательная скв. 16 оборудована на вологодско-московский ВГ.

Откачка из скв. 11 проводилась в режиме постоянного дебита в период зимней межени при низком положении уровней в горизонте и незначительном их изменении во времени (2–3 см). Дебит центральной скважины 17,3 л/с при понижении до 16,5 м в возмущающей скважине и 0,92–1,29 в наблюдательных скважинах. Продолжительность откачки 240 ч.

При подсчете запасов в 1984 г. интерпретация материалов откачки выполнена с помощью методов Джейкоба (временное, площадное и комбинированное прослеживание) и эталонных кривых Хантуша–Джейкоба. Расчеты водопроводимости (km) и пьезопроводности (a^*) даны по результатам снижения уровня при опытной кустовой откачке из скв. 11. Графики $S-lg(t)$ имеют сложную форму, характерную для процессов перетекания (рис. 3).

Расчеты параметров по прямолинейному участку IV графика $S-lg(t)$ дали одинаковое значение водопроводимости – 684 м²/сут. Поскольку питание основного ВГ осуществляется за счет перетока из вышележащего вологодско-московского и предположительно из нижележащего верхнемелового ВГ, этот параметр является обобщенным.

Обработка параметров для IV участка для контроля выполнена способом комбинированного прослеживания. Водопроводимость, определенная по

конечному общему прямолинейному участку комбинированного графика, 684 м²/сут., та же величина получена способом временного прослеживания, пьезопроводность 8,5 × 10⁴.

Параметры, рассчитанные по графику $S-lg(r)$, построенному на момент стабилизации, и графику $lg(s)-lg(r)$ эталонной кривой по участку III также дают обобщенные параметры основного горизонта. В первом случае водопроводимость 729, пьезопроводность 1,25 × 10⁵ м²/сут. Во втором случае водопроводимость оказалась почти 672 м²/сут.

Водопроводимость на II участке имеет одинаковые значения по всем наблюдательным скважинам – 516 м²/сут. Пьезопроводность от 3,1 × 10⁴ (по ближайшей наблюдательной скважине) до 6,2 × 10⁴ м²/сут. (по дальней наблюдательной скважине). Среднеарифметическое значение a^* 4,71 × 10⁴ м²/сут.

Контроль определения параметров по участку II проведен методом эталонных кривых (метод Уолтона). Среднеарифметические значения водопроводимости и пьезопроводности 489 и 4 × 10⁴ м²/сут. В табл. 2 сведены значения параметров, полученные всеми методами обработки.

При откачке из окско-вологодского ВГ происходило снижение уровня в наблюдательной скв. 16, оборудованной на смежный вологодско-московский ВГ, что служит прямым доказательством перетекания. Это подтверждает косвенный признак – характерная для процесса перетекания форма графика $S-lg(t)$. В скважинах, оборудованных на верхнемеловой ВГ, снижения уровней не отмечено, но разность напоров 12–13 м позволяет судить о возможном перетекании из нижнего горизонта.

В процессе откачки наступила стабилизация уровня в верхнем питающем ВГ, вероятно, объясняющаяся его гидравлической связью с поверхностными водоемами, что в свою привело к стабилизации уровня в опробуемом ВГ. Для определения параметра перетекания применена схема

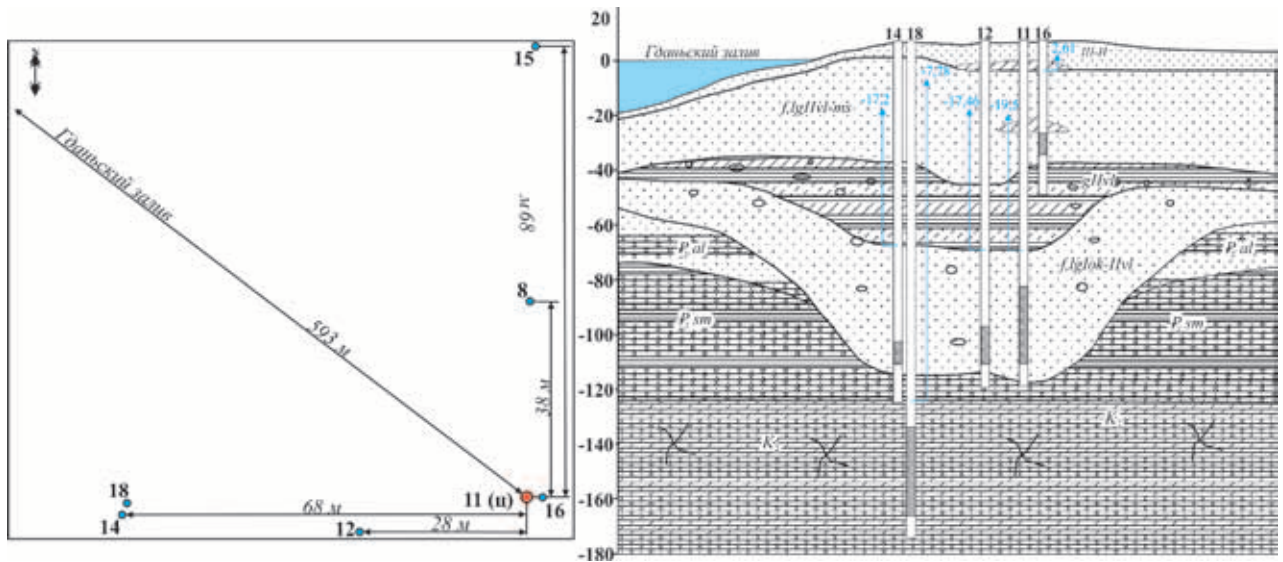


Рис. 2. Схема опытного куста скважин и схематический разрез участка работ (литологический состав подразделений указан в табл. 1)

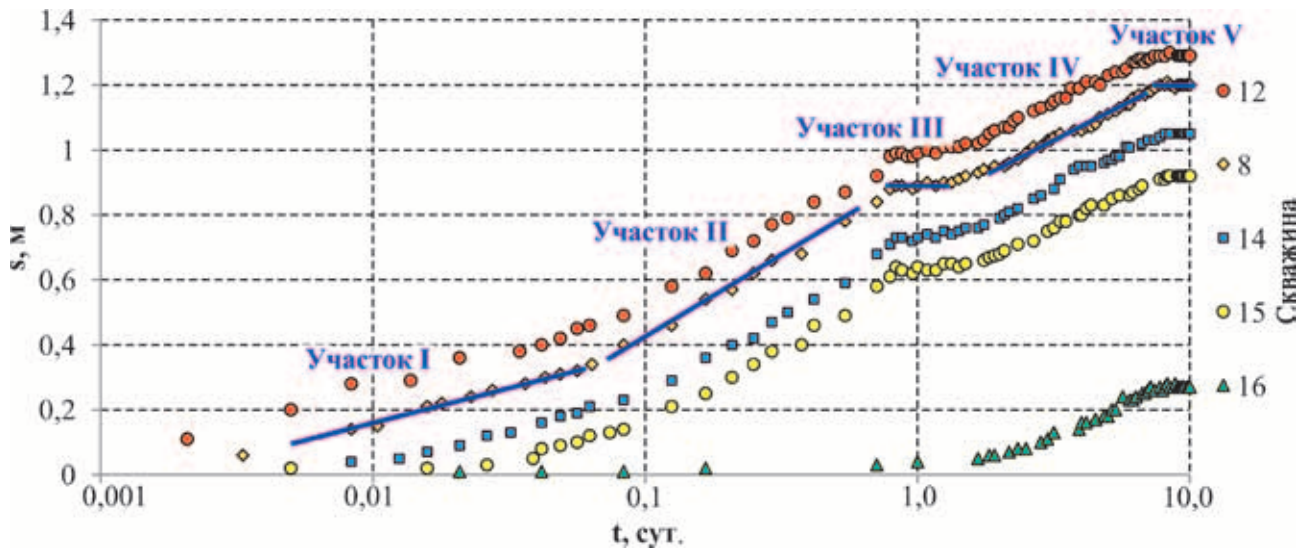


Рис. 3. График временного прослеживания

Таблица 2

Значения параметров, полученные разными методами обработки, м³/сут.

Номер скважины	Временное прослеживание S–lg(t)				Площадное прослеживание S–lg(r)		Комбинированное прослеживание S–lg(t/r ²)		Метод Уолтона lg(s)–lg(t)		Метод эталонной кривой lg(s)–lg(r)
	II		III		IV		IV		II		III
	km	a*	km	a*	km	a*	km	a*	km	a*	km
12	516	3,1 × 10 ⁴	684	7,7 × 10 ⁴					483	2,97 × 10 ⁴	
8	516	3,9 × 10 ⁴	684	7,4 × 10 ⁴					495	4,15 × 10 ⁴	
14	516	5,65 × 10 ⁴	684	9,6 × 10 ⁴	729	1,25 × 10 ⁵	684	8,5 × 10 ⁴	483	4,4 × 10 ⁴	672
15	516	6,2 × 10 ⁴	684	8,5 × 10 ⁴					495	4,48 × 10 ⁴	
Ср.	516	4,71 × 10 ⁴	684	8,3 × 10 ⁴					489	4,0 × 10 ⁴	

Расчет для окско-вологодского ВГ

Номер скважины	В, м			
	$S = (Q/2\pi km)\ln(1,12/\bar{r})$	Метод Уолтона $\lg(s) - \lg(t)$	Площадное прослеживание $S - \lg(r)$	Метод эталонной кривой $\lg(s) - \lg(r)$
12	412	560	561	428
8	459	506		
14	595	544		
15	569	577		
Ср.	508	547		

с перетеканием с постоянным уровнем в питающем пласте (табл. 3).

Из-за ограниченного числа определений параметров перетекания и заметного расхождения в результатах определений за расчетную величину принято максимальное значение 561 м.

Важно отметить, что при всем многообразии аналитических схем для обработки данных откачки ни одна не отвечает реальным условиям проведения опыта, а именно, «пласт-полосе» с полупроницаемыми границами, осложненной перетеканием из смежного (вышележащего) ВГ. Диагностическим признаком такой схематизации является участок II, отражающий плановую неоднородность, — выход депрессионной воронки на границу окско-вологодского и среднепалеогенового алкского ВГ, характеризующихся более слабыми фильтрационными свойствами по сравнению с I участком, отражающим распространение депрессионной воронки в окско-вологодском ВГ. Далее начинает работать перетекание, выражающееся в характерной «полке» (участок III) на графике. Факт перетекания подтверждается синхронной реакцией уровней подземных вод в смежном вологодско-московском ВГ. Участок IV отвечает суммарной водопроницаемости всей толщи с учетом плановой неоднородности. Затем депрессионная воронка выходит на границу обеспеченного питания, причем в обоих ВГ, о чем свидетельствует участок V (рис. 3).

Таким образом, корректное определение геофильтрационных параметров, особенно перетекания с использованием аналитических методов в условиях многопараметричности, в ряде случаев затруднительно. При определении всех геофильтрационных параметров, входящих в балансовую схему участка работ, наиболее эффективно, очевидно, воспроизведение опыта на математической модели [2].

Разработка математической геофильтрационной модели. Для реализации модели автор использовал лицензионный программный комплекс Processing ModFlow v. 8. Выбор данной программы для имитации опытного опробования позволяет решить прогнозные задачи и повысить степень надежности параметров, полученных в ходе численных экспериментов.

Модель разработана автором на основе топографических карт масштабов 1 : 50 000 и 1 : 200 000, а также материалов АО «Северо-Западное ПГО», полученных в ходе работ 2014–2016 гг. Рассматриваемая

территория вписана в прямоугольную область размером 10 600 × 11 600 м и покрыта неравномерной ортогональной сеткой, сгущающейся на участке проведения ОФР 1984 г. Размеры расчетных ячеек в плане от 1,25 м в районе центральной скважины до 50 м на периферии. Выбор подобной дискретизации позволяет качественно описать граничные условия, выделить основные зоны неоднородности и изучить структуру фильтрационного потока. Общая площадь модели 122,96 км². Контур активной (рабочей) области (внешние границы) на большей своей части соответствует естественным гидродинамическим границам.

В качестве исходной базы данных для построения цифровой модели геологического пространства (рис. 4) использован каталог скважин, составленный по результатам сбора и анализа материалов. В каталог вошли данные по всем скважинам, вскрывающим верхнемеловые отложения (нижний слой модели). Данные по скважинам, вскрывающим вологодско-московский, окско-вологодский и среднепалеогеновый алкский ВГ, внесены в каталог выборочно, исходя из позиции разумной достаточности.

Отдельно стоит отметить 4- и 5-й модельные слои, аппроксимирующие среднепалеогеновые отложения, прорезанные палеодолиной. В районе вреза долины в отложениях алкской свиты задана зона неоднородности с фильтрационными и емкостными параметрами окского-вологодских отложений. Особое внимание уделено построению структурных поверхностей кровли и подошвы 4-го модельного слоя в районе вреза, обеспечивающего детальное соответствие модельного представления реальному положению погребенной долины в пространстве.

Модельная интерпретация результатов ОФР. Воспроизведение откачки на численной модели заключалось в вариантном подборе фильтрационных характеристик многослойной толщи до достижения на модели фактических понижений уровня воды в наблюдательных скважинах, полученных в ходе опытно-фильтрационного опробования. При этом для модельных слоев задавались горизонтальный (k_x) и вертикальный (k_z) коэффициенты фильтрации, коэффициенты упругоёмкости (η^*) и гравитационной водоотдачи (μ).

Начальные коэффициенты горизонтальной фильтрации модельных слоев приняты за осредненные значения совокупности результатов ОФР, проведенных в районе г. Балтийск в 1977–2016 гг.

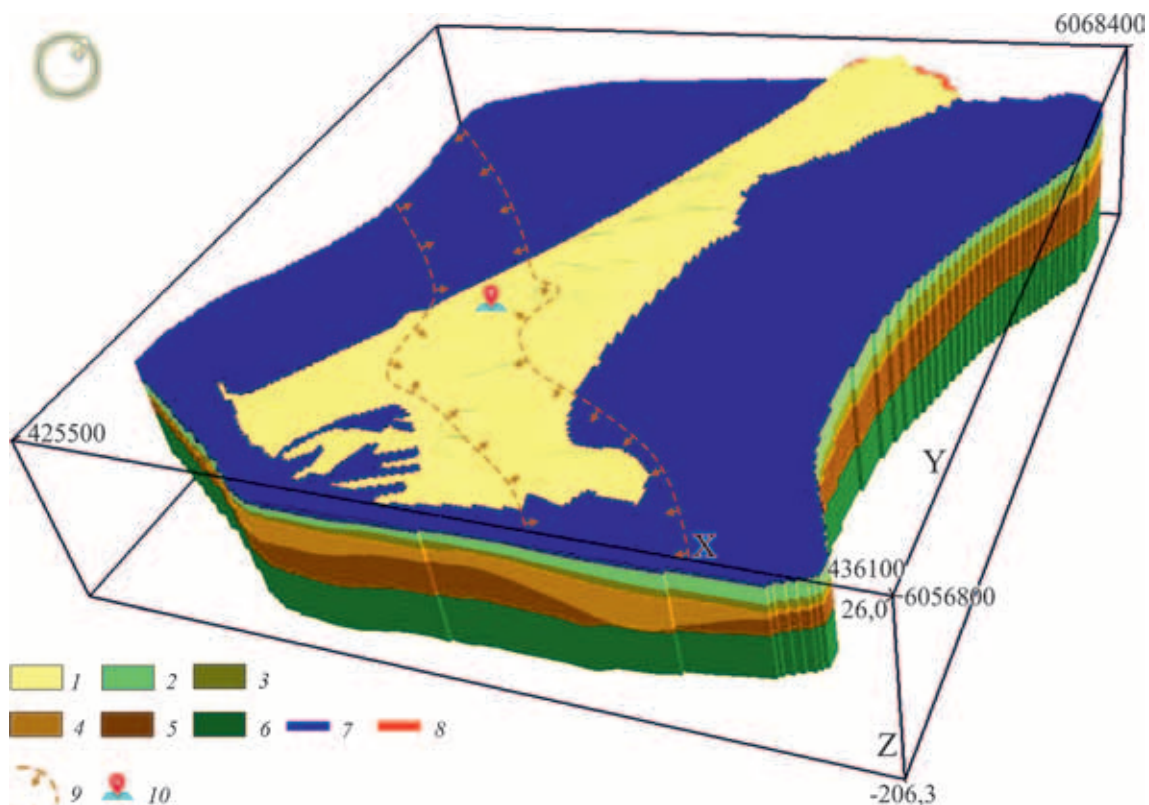


Рис. 4. Цифровая трехмерная модель геологического пространства

1–6 – модельные слои: 1 – 1-й, 2 – 2-й, 3 – 3-й, 4 – 4-й, 5 – 5-й, 6 – 6-й; 7 – ГУ I рода ($H = \text{const}$); 8 – ГУ II рода ($Q = \text{const}$); 9 – контур распространения окско-вологодского ВГ; 10 – участок проведения ОФР в 1984 г.

Таблица 4

Значения фильтрационных параметров, полученных при интерпретации и по результатам кустовой откачки из скв. 11 (параметры k_x и k_z в м/сут.)

Номер слоя	Гидрогеологический индекс	Параметр	Расчетное значение	Результат ОФР 1984 г.
1	III-H	k_x	1,4	–
		k_z	0,3–1,1	–
		η^*	$4,5 \cdot 10^{-4}$ – $6,4 \cdot 10^{-5}$	–
		μ	0,1	–
2	f,lgIIvl-ms	k_x	0,95–2,1	1,37
		k_z	0,68–0,95	–
		η^*	$3,1 \cdot 10^{-5}$	–
3	gIIvl	k_x	0,013–0,38	–
		k_z	$1,2 \cdot 10^{-3}$ – $3,5 \cdot 10^{-3}$	$3,27 \cdot 10^{-2}$
		η^*	$1,0 \cdot 10^{-4}$	–
4	P_{2pr}/P_{2al}	k_x	2,2–8,3	5,26
		k_z	0,9–1,3	–
		η^*	$3,75 \cdot 10^{-5}$	–
	f, lgIok-IIvl	k_x	10,5–17,2	10,75–15,18
		k_z	6,57	–
		η^*	$3,2 \cdot 10^{-5}$	–
5	P_{sm}	k_x	0,012–1,43	–
		k_z	$k_z = k_x$	–
		η^*	$1,0 \cdot 10^{-5}$	–
6	K_2	k_x	1,43	1,45
		k_z	$k_z = k_x$	–
		η^*	$1,3 \cdot 10^{-5}$	–

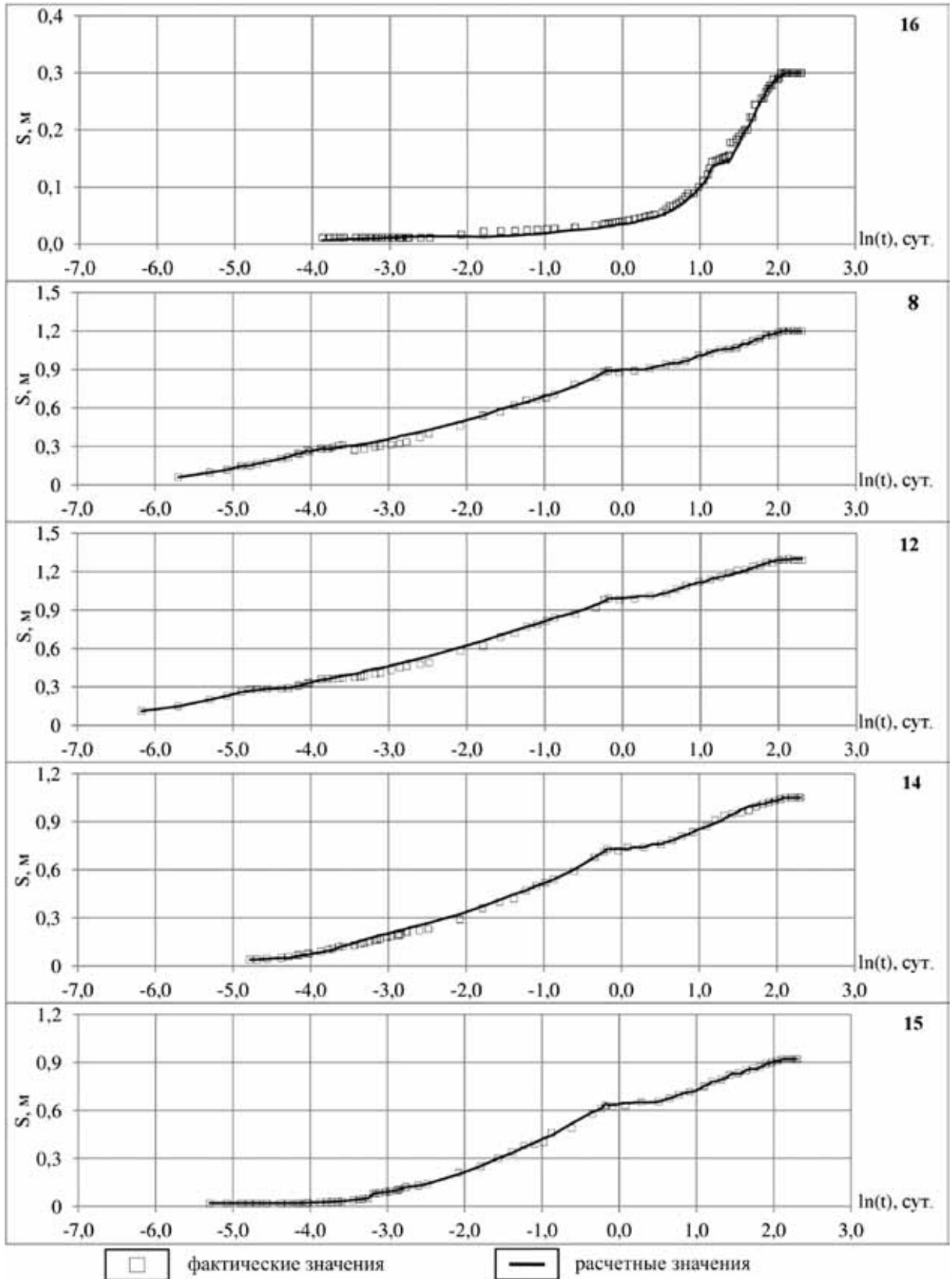


Рис. 5. Сравнительные графики фактических и модельных понижений в наблюдательных скважинах 8, 12, 14–16

Коэффициент вертикальной фильтрации принят равным коэффициенту горизонтальной фильтрации. Упругоэластичность пласта $\eta^* = K_v/a^*$, величина гравитационной отдачи задавалась на основании справочной литературы.

В ходе моделирования определялось понижение в наблюдательных скважинах, и если оно отличалось от действительного, то операция повторялась с другими фильтрационными параметрами. Таким образом, на модели итеративно подбирались основные характеристики водоносных и водоупорных горизонтов [5].

Модельное воспроизведение понижений уровня подземных вод в скважинах достигнуто путем разбиения времени проведения опыта (10 суток) на 114 стресс-периодов. Длина одного стресс-периода равна разности времени между ближайшими фактическими замерами уровня в наблюдательных скважинах (табл. 4).

По результатам калибровки модели путем итерационного подбора параметров получены расчетные кривые понижений в вологодско-московском и окско-вологодском ВГ (рис. 5). Важно отметить, что если подобранные на модели значения (от 10,5 до 17,2 м/сут.) коэффициента фильтрации опробуемого окско-вологодского ВГ в целом совпадают с результатами анализа (от 10,75 до 15,18 м/сут.), то параметр перетекания занижен примерно в три раза (расчетный 1650, фактический 561 м). Примем во внимание, что чем меньше параметр перетекания, тем интенсивнее, при прочих равных условиях, идет перетекание [8]. Это может привести к завышению привлекаемых ресурсов в эксплуатируемый пласт из смежного водоносного горизонта и значительной погрешности при оценке эксплуатационных запасов.

Расчетная схема, выбранная для аналитической интерпретации откачки по скв. 11, не отражает реальных гидрогеологических условий, которые способна воспроизвести математическая модель. Это объясняется довольно сильным упрощением схемы опытного опробования в условиях сложного геологического строения участка проведения работ.

Полученные в рамках интерпретации результатов ОФР расчетные значения понижений имеют хорошую сходимость с фактическими понижениями в наблюдательных скважинах. Следовательно, фильтрационные параметры модельной интерпретации результатов ОФР можно считать обоснованными и принимать для дальнейших расчетов.

Выводы. Установлено, что параметр перетекания, определенный аналитически, занижен примерно в три раза. Расчетная схема, выбранная для аналитической интерпретации откачки по скв. 11, не отражает реальных гидрогеологических условий, а полученные аналитически эффективные параметры некорректны для численного моделирования, предполагающего использование более гибкой геофильтрационной схемы.

Метод математического моделирования позволил определить параметры не только опробуемого окско-вологодского ВГ, но и смежных подразделений, и учесть сложность гидродинамических условий. В результате модельной интерпретации кустовой откачки получены расчетные кривые понижений в вологодско-московском и окско-вологодском ВГ, отражающие хорошее совпадение

фактического и расчетного ходов изменения уровня в наблюдательных скважинах. Следовательно, фильтрационные параметры, полученные по результатам модельных решений, можно считать обоснованными.

Подчеркнем, что для решения дальнейших прогнозных задач будет использоваться та же геофильтрационная схема, что и при определении параметров. Разработанная и верифицированная математическая модель повышает степень надежности дальнейших прогнозов.

1. Боровский Б.В., Самсонов Б.Г., Язвин Л.С. Методика определения параметров водоносных горизонтов по данным откачек. — М.: Недра, 1979. — 14 с.

2. Гончарова О.В. Методика обоснования геофильтрационных параметров в напорных пластах в речных долинах по моделированию паводкового режима (на примере водозаборов г. Твери) // Разведка и охрана недр. 2012. № 11. — С. 73–75.

3. Иодказис В.И., Мокрик Р.В. Методические аспекты региональных гидрогеологических исследований акватории Балтийского моря // Формирование подземных вод как основа гидрогеологических прогнозов: Материалы I Всесоюз. гидрогеол. конф. — М.: Наука, 1982. Т. 1. — С. 336–337.

4. Кондратас А.Р. Гидрогеология СССР. Т. XLV: Калининградская область. — М.: Недра, 1970. — 97 с.

5. Котлов С.Н., Володченко К.Е. Использование имитационного моделирования для планирования и интерпретации опытно-фильтрационных работ при разведке месторождений твердых полезных ископаемых // Зап. Горного института. 2011. Т. 189. — С. 38–41.

6. Норватов Ю.А., Петрова И.Б., Сергутин М.В., Шамшаев А.А. Повышение информативности опытных откачек, проводимых при инженерных изысканиях, при помощи численного геофильтрационного моделирования // Инженерные изыскания. 2015. № 5–6. — С. 24–29.

7. Семенчук А.В. Условия формирования эксплуатационных запасов подземных вод юго-западной части Калининградского полуострова // Регион. геология и металлогения. 2017. № 69. — С. 61–68.

8. Синдаловский Л.Н. Справочник аналитических решений для интерпретации опытно-фильтрационных опробований. — СПб.: Изд-во СПбГУ, 2006. — 25 с.

1. Borevskiy B.V., Samsonov B.G., Yazvin L.S. Metodika opredeleniya parametrov vodonosnyh gorizontov po dannym otkachek [Method for determining the parameters of aquifers by pumping data]. Moscow: Nedra. 1979. 14 p.

2. Goncharova O.V. The method of justifying geofiltration parameters in pressure beds in river valleys by modeling the flood regime (using the example of Tver water intakes). *Razvedka i ohrana nedr.* 2012. No 11, pp. 73–75. (In Russian).

3. Iodkazis V.I., Mokrik R.V. Methodical aspects of regional hydrogeological investigations of the Baltic Sea area. *Groundwater formation as a basis for hydrogeological forecasts: Materials of the I All-Union Hydrogeological Conference.* Moscow: Nauka. 1982. Vol. 1. Pp. 336–337. (In Russian).

4. Kondratas A.R. *Gidrogeologiya SSSR. T. XLV: Kaliningradskaya oblast'* [Hydrogeology of the USSR. Vol. XLV: Kaliningrad Region]. Moscow: Nedra. 1970. 97 p.

5. Kotlov S.N., Volodchenko K.E. Use of simulation modeling for planning and interpreting experimental filtration work in the exploration of deposits of solid minerals. *Zap. Gornogo instituta.* 2011. Vol. 189. Pp. 38–41. (In Russian).

6. Norvatov Yu.A., Petrova I.B., Sergutin M.V., Shamsheev A.A. Increase of informativeness of experimental pumping out, carried out at engineering researches, by means of numerical geofiltration modeling. *Inzhenernye izyskaniya.* 2015. No 5–6, pp. 24–29. (In Russian).

7. Semenchuk A.V. Conditions for the formation of the exploitation reserves of groundwater in the southwestern part of the Kaliningrad Peninsula. *Region. geologiya i metallogeniya*. 2017. No 69. Pp. 61–68. (In Russian).

8. Sindalovskiy L.N. Spravochnik analiticheskikh resheniy dlya interpretacii opytно-fil'tracionnykh oprobovanii [Directory of analytical solutions for the interpretation of experimental filtration test]. St. Petersburg: SPbGU. 2006. 25 p.

Семенчук Александр Владимирович – аспирант, Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского (ВСЕГЕИ). Средний пр., 74, Санкт-Петербург, 199106, Россия; начальник лаборатории моделирования, АО «Северо-Западное ПГО». Ул. Одоевского, д. 24, корп. 1, а/я 84, Санкт-Петербург, 199155, Россия. <aleksandr.s-k@mail.ru>

Semenchuk Alexandr Vladimirovich – Ph.D. Student, A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute (VSEGEI). 74 Sredny prospect, St. Petersburg, 199106, Russia; Head of Laboratory of modeling, JSC «North-West PGA». 24/1 Odoyevskogo str., St. Petersburg, 199155, Russia. <aleksandr.s-k@mail.ru>