

УДК 556.38

DOI: 10.31660/0445-0108-2024-1-59-70

Влияние фильтрационной неоднородности горных пород на прогнозные расчеты при подсчете запасов пресных подземных вод Нефтеюганского месторождения

В. И. Козырев^{1, 2*}, Ю. В. Васильев²

¹Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

²Западно-Сибирский филиал Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, Тюмень, Россия

*kozyrev-v@mail.ru

Аннотация. Под фильтрационной неоднородностью горных пород в гидрогеологии обычно подразумевают неоднородность водопроницаемости водоносного пласта. Методы определения водопроницаемости в большинстве случаев предназначены для однородных водоносных пластов. Но в реальных условиях природные гидрогеологические объекты являются неоднородными, что приводит к затруднению интерпретации опытных данных гидродинамических исследований на таких объектах, а также к ошибкам в расчетах при подсчете запасов подземных вод. В статье показано влияние фильтрационной неоднородности горных пород на прогнозные расчеты при подсчете запасов. Исследования, включающие в себя гидродинамические опробования (кустовые откачки), выполнены на одном из крупных месторождений пресных подземных вод Широкого Приобья — Нефтеюганском. Опытные данные, полученные в результате проведения четырех опытов, проинтерпретированы в рамках модели Тейса. Определены параметры водоносной толщи: коэффициенты водопроницаемости и пьезопроводности. В статье приведены прогнозные расчеты понижения уровня воды в центре большого колодца. Прогноз выполнен по трем вариантам, учитывающим фильтрационную неоднородность водоносного пласта на месторождении. В результате установлено влияние фильтрационной неоднородности на прогнозные расчеты. Ошибка в расчетах при подсчете запасов подземных вод по Нефтеюганскому месторождению может составлять 51 %. В работе предложено на участках недр с фильтрационной неоднородностью для получения достоверных параметров по месторождению проводить длительные гидродинамические исследования с целью охвата возмущением водоносного пласта большим размером, чем фильтрационная неоднородность горных пород.

Ключевые слова: подземные воды, фильтрационная неоднородность, кустовые откачки, месторождение пресных подземных вод, коэффициенты водопроницаемости и пьезопроводности, прогнозные расчеты

Для цитирования: Козырев, В. И. Влияние фильтрационной неоднородности горных пород на прогнозные расчеты при подсчете запасов пресных подземных вод Нефтеюганского месторождения / В. И. Козырев, Ю. В. Васильев. — DOI 10.31660/0445-0108-2024-1-59-70 // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. — 2024. — № 1. — С. 59–70.

The impact of rock filtration heterogeneity on fresh groundwater reserve prediction calculations in the Nefteyuganskoye field

Vladimir I. Kozyrev^{1, 2*}, Yuri V. Vasiliev²

№ 1, 2024

Нефть и газ

59

¹*Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia*

²*West Siberian Division of Trofimuk Institute of Petroleum-Gas Geology and Geophysics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tyumen, Russia*

**kozyrev-v@mail.ru*

Abstract. In hydrogeology, filtration heterogeneity of rocks usually means heterogeneity of water conductivity of an aquifer. Methods for determining water conductivity are primarily designed for homogeneous aquifers. However, natural hydrogeological objects are often heterogeneous, which can complicate the interpretation of experimental data from hydrodynamic studies and lead to errors in calculating groundwater reserves. The article shows the impact of rock filtration heterogeneity on reserve calculation forecasts. The studies, including hydrodynamic testing (cluster pumping), were carried out at the Nefteyuganskoye field, which is one of the major fresh groundwater deposits of the Latitudinal Ob region. The experimental data from four experiments were interpreted using the Theis model. The parameters of the aquifer are determined: coefficient of water conductivity and pressure conductivity factor. The article presents predictive calculations for the reduction of water levels in the center of a large well. The forecast was conducted for three options, taking into account the filtration heterogeneity of the aquifer in the field. Consequently, the impact of filtration heterogeneity on the forecast calculations was determined. The calculation error in estimating groundwater reserves at the Nefteyuganskoye field could be as high as 51 %. The article suggests conducting long-term hydrodynamic studies in subsurface areas with filtration heterogeneity to obtain reliable field parameters. This will cover the disturbance of an aquifer with a larger size than the filtration heterogeneity of rocks.

Keywords: groundwater, filtration inhomogeneity, cluster pumping, fresh water aquifer, coefficient of water conductivity and pressure conductivity factor, prediction calculations

For citation: Kozyrev, V. I., & Vasiliev, Yu. V. (2024). The impact of rock filtration heterogeneity on fresh groundwater reserve prediction calculations in the Nefteyuganskoye field. *Oil and Gas Studies*, (1), pp. 59-70. (In Russian). DOI: 10.31660/0445-0108-2024-1-59-70

Введение

Нефтеюганское месторождение пресных подземных вод (МППВ) находится в центральной части Западно-Сибирской равнины, в междуречье реки Оби и протоки Юганская Обь, в границах города Нфтеюганска Ханты-Мансийского автономного округа — Югры Тюменской области. Нефтеюганское месторождение эксплуатируется 26 водозаборными скважинами, которые расположены неравномерно на площадке размером 185×340 метров (рис. 1).

Для наблюдения за режимом подземных вод на месторождении пробурено 9 наблюдательных скважин [1].

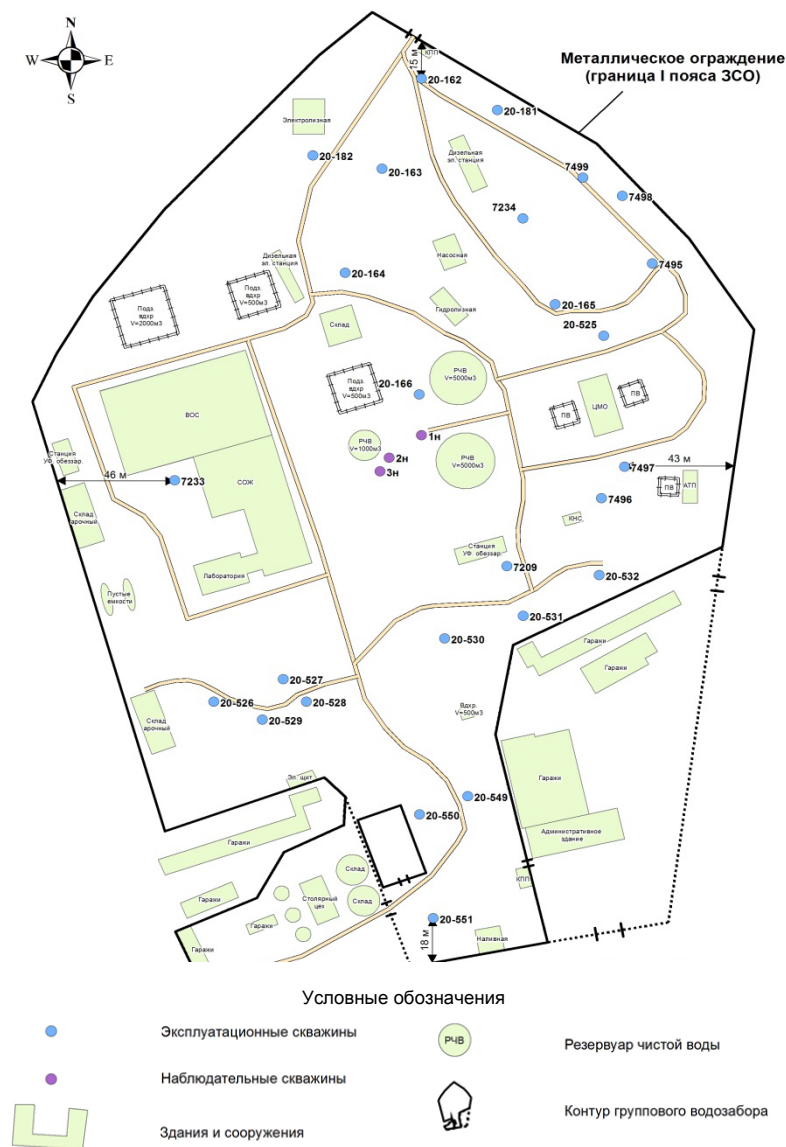


Рис. 1. Схема водозабора Нефтеюганского месторождения пресных подземных вод

Объект и методы исследования

В основном на Нефтеюганском месторождении добываются подземные воды атлымского водоносного горизонта (ВГ). Глубина залегания кровли ВГ изменяется от 180 до 240 м, общая мощность горизонта достигает 101 м, при этом эффективная мощность изменяется от 20 до 65 м (рис. 2). Отложения продуктивного горизонта на месторождении, как правило, представлены песками мелкозернистыми, переслаиванием песков и глин, глинами, глинами с прослоями песков. Сверху ВГ перекрыт реликтовыми многолетнемерзлыми породами (мощностью 30–65 м), подстилают горизонт глинистые отложения тавдинской свиты морского генезиса.

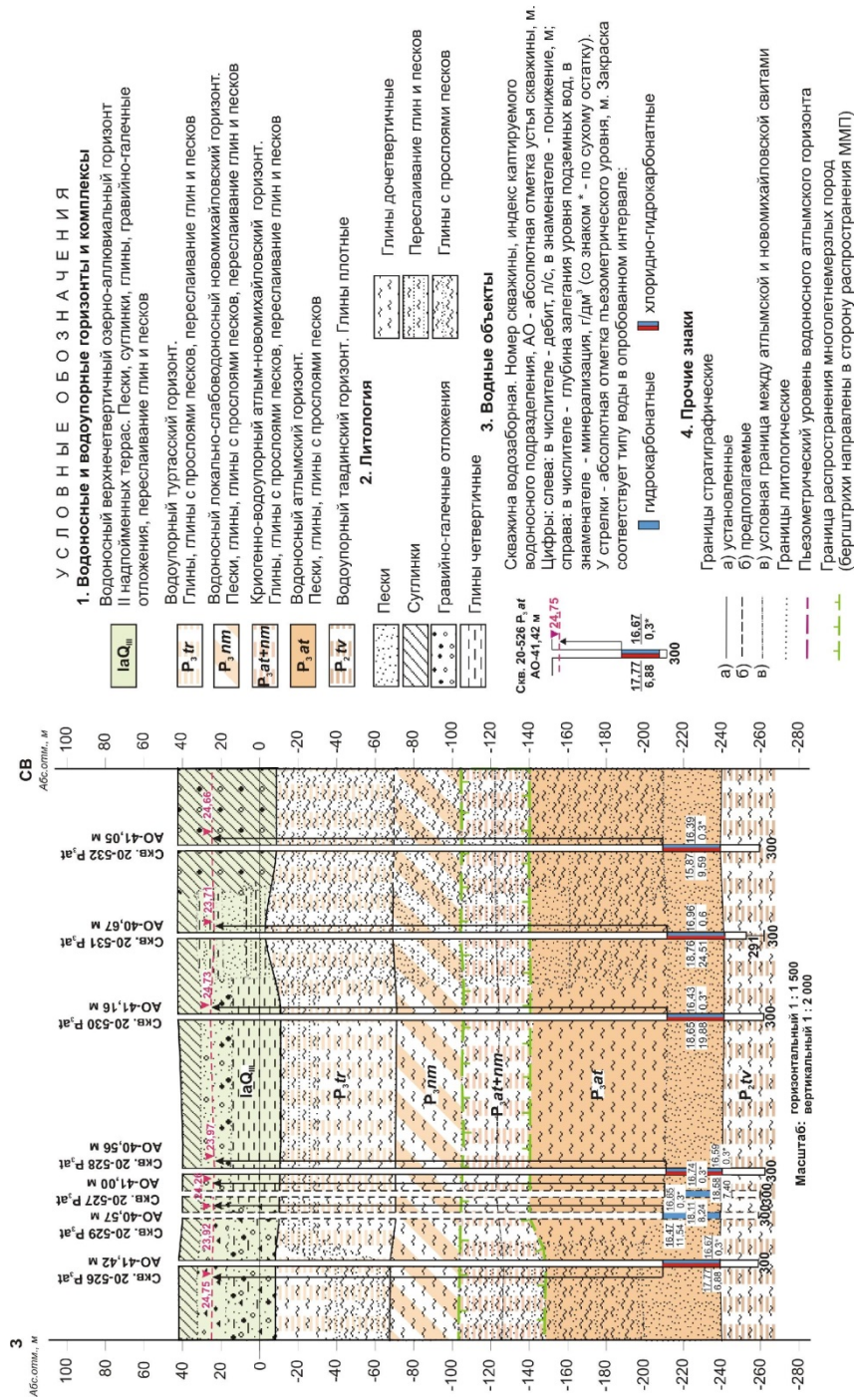


Рис. 2. Схематический гидрогеологический разрез

Гидродинамические исследования на месторождении выполнены в 2016 году, с целью получения исходного материала для пересчета запасов пресных подземных вод. Исследования включали проведение четырех кустовых откачек. Местоположение опытных кустов закладывалось таким образом, чтобы опытными работами охватить всю площадь группового водозабора Нефтеюганского месторождения пресных подземных вод. Продолжительность опытов составляла от 47 до 120 часов, опыты выполнялись в одну стадию прослеживания снижения уровня. Кустовые откачки производились с постоянным максимальным дебитом в возмущающей скважине с помощью погружных насосов WILLO. В комплекс работ во время откачек входили замеры уровня и дебита в опытной скважине и замеры уровней в наблюдательных скважинах. Количество наблюдательных скважин в одном опытном кусте составляло от 8 до 11. Частота регистрации уровня стандартная, первые замеры через 1, 2, 3, 5, 10 минут, следующие — через 30 минут, далее через один, два, четыре часа до конца опыта. Точность замеров уровня составляла 0,001 м. Отвод воды из скважин осуществлялся в систему водовода (с наименьшим гидравлическим сопротивлением), дебит регистрировался по водомерному счетчику и сохранялся постоянным (колебания составляли не более 2 %).

Первая кустовая откачка в процессе работ по пересчету запасов пресных подземных вод выполнена в период 29.10–31.10.2016, в качестве возмущающей скважины выбрана скв. № 20-166, в качестве наблюдательных — № 20-164, 20-181, 20-182, 20-529, 20-530, 20-551, 7 495, 7 497, 1н, 2н, 3н. Наблюдательные скважины расположены от центра возмущения на расстояниях 58–216 м. Опыт длился 53,1 часа. Гидродинамическое возмущение в центральной скважине произведено при дебите 1 110 м³/сут, понижение составило 22,174 м, статический уровень воды в скважине находился на отметке 19,645 м. В наблюдательных скважинах понижение уровня составило 0,443–5,106 м.

Схема опытного куста № 2 следующая: две возмущающие скважины № 7 498 и 7 499 (скв. 7 498 — эксплуатирующая водоносный атлымский горизонт, скв. 7 499 — эксплуатирующая водоносный новомихайловский горизонт) и 12 наблюдательных — № 20-163, 20-166, 20-181, 20-182, 20-525, 20-532, 7 233, 7 234, 7 497, 1н, 2н, 3н. Наблюдательные скважины расположены от центра возмущения на расстояниях 40–210 м. Опыт выполнен в период 02.11–07.11.2016, продолжительность опыта составила 120 часов. Гидродинамическое возмущение в центральных скважинах произведено при дебите 1 584 м³/сут (скв. 7 498) и 1 522 м³/сут (скв. 7 499), понижение составило 8,464 м (скв. 7 498) и 7,871 м (скв. 7 499), статический уровень на начало откачки был равен 18,820 м (скв. 7 498) и 19,42 м (скв. 7 499). В наблюдательных скважинах уровень воды понизился на 0,682–5,620 м.

Опытный куст № 3 состоял из одной возмущающей скв. № 20-550 и 14 наблюдательных — № 20-526, 20-527, 20-528, 20-529, 20-530, 20-531, 20-532, 20-549, 20-551, 7209, 7497, 1н, 2н, 3н. Наблюдательные скважины раз-

мещены от центра возмущения на расстояниях 21–164 м. Опыт длился 71 час, проведен в период 08.11–11.11.2016, с дебитом 1 564 м³/сут, понижение составило 14,961 м, статический уровень на начало откачки был равен 11,924 м. В наблюдательных скважинах понижение уровня составило 0,256–0,695 м.

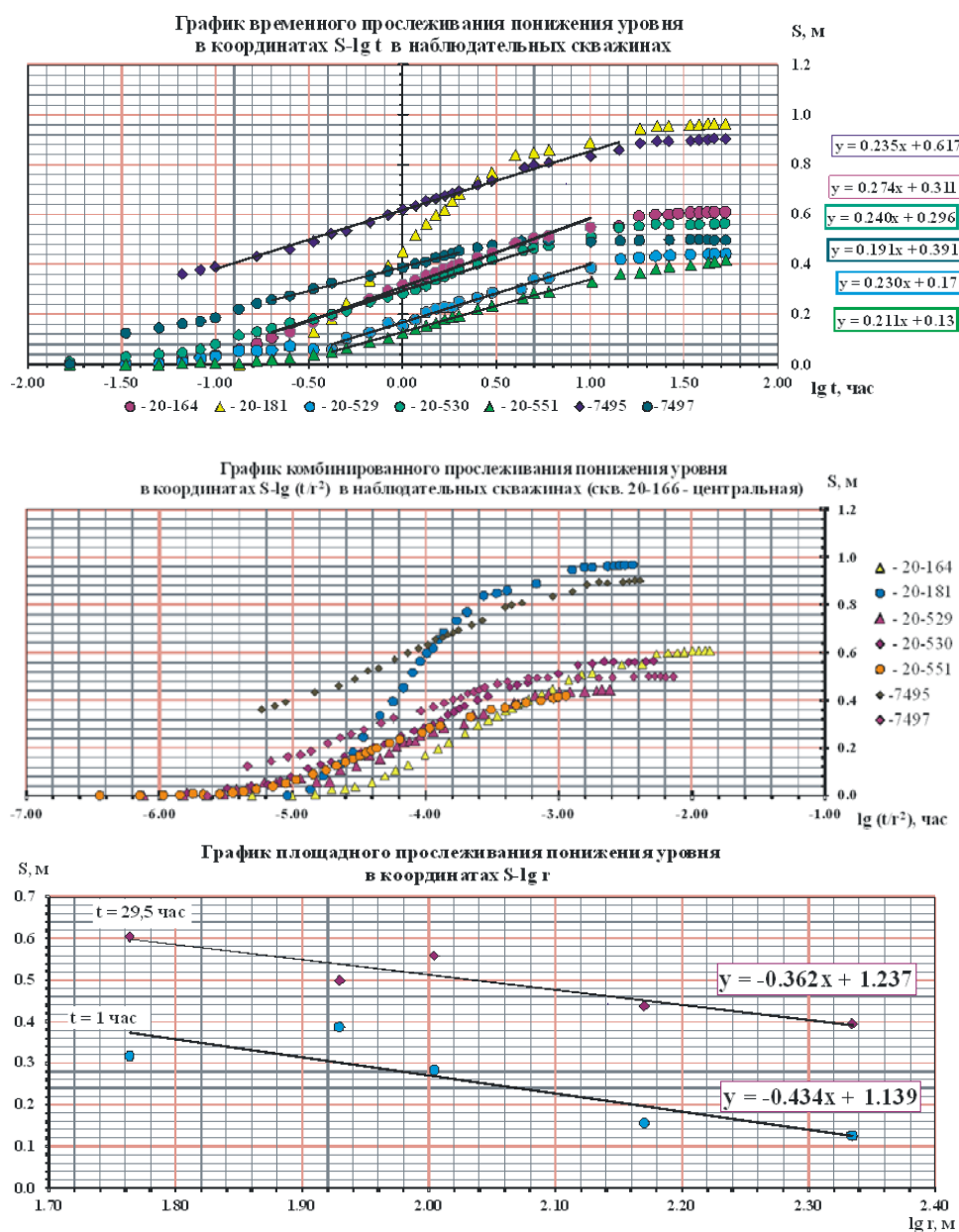


Рис. 3. Графическая обработка опытных данных на примере кустовой откачки № 1

Четвертая кустовая откачка выполнена в период 12.11–14.11.2016, схема куста следующая: одна центральная (возмущающая) скв. № 7 233 и 12 наблюдательных — № 20-162, 20-164, 20-165, 20-166, 20-525, 20-527,

20-550, 20-551, 7 495, 1н, 2н, 3н. Наблюдательные скважины расположены от центра возмущения на расстояниях 92–207 м. Продолжительность опыта составила 47 часов. Уровень воды в центральной скважине понизился на 12,127 м при дебите 1 615 м³/сут, статический уровень на начало откачки был равен 17,430 м. В наблюдательных скважинах понижение уровня составило 0,08–0,418 м.

Интерпретация опытных данных кустовых откачек выполнялась графоаналитическими методами, были построены графики временного прослеживания понижения уровня ($S - \lg t$); площадного прослеживания ($S - \lg r$); комбинированного прослеживания понижения ($S - \lg (t/r^2)$). Пример таких графиков представлен на рисунке 3.

Результаты

По опытным данным, полученным в результате выполнения гидродинамических исследований в виде кустовых откачек на групповом водозаборе Нефтеюганского месторождения, определены основные гидрогеологические параметры олигоценового водоносного комплекса: коэффициенты водопроводимости и пьезопроводности. Для этого опытные данные представлялись в соответствующих системах координат. Коэффициенты водопроводимости и пьезопроводности определены по полулогарифмическим графикам временного, площадного и комбинированного прослеживания понижения уровня [2, 3]. Выбирались представительные участки кривых графика, отвечающие прямолинейности и квазистационарному режиму фильтрации. Результаты значений, полученных в процессе интерпретации опытных данных в рамках модели Тейса, сведены в таблицу 1.

Анализ значений коэффициентов водопроводимости (см. табл. 1) показывает их разброс по площади, что указывает на фильтрационную неоднородность водовмещающих отложений в пределах участка водозабора. По усредненным данным коэффициента водопроводимости, полученным в результате обработки графиков временного прослеживания по наблюдательным скважинам, построена карта водопроводимости участка работ (рис. 4). Следует выделить юго-восточную часть участка месторождения, где отмечаются наибольшие значения коэффициента водопроводимости. Геологическое строение указанного участка (см. рис. 2) подтверждают результаты опытных работ, в разрезе (скв. № 20-525, 20-531, 20-532) преобладают песчаные отложения в отличие от остальной площади. Мощность рыхлых отложений увеличивается в несколько раз.

Для использования гидрогеологических параметров в прогнозном расчете важно знать, какую область пласта они характеризуют или в какой степени отражают неоднородность опробываемого пласта. Вполне реально, что даже при длительном возмущении пласта размеры элементов неоднородности соизмеримы с размерами области возмущения, в этом случае параметры, определяемые по графикам $S - \lg t$ и $S - \lg r$, нельзя распространять на всю область эксплуатационного возмущения при прогнозном расчете [3].

Метод	Временное прослеживание						Комбинированное прослеживание						Площадное прослеживание								
	S-Ig t						S-Ig (tr ²)						S-Ig r								
	км, м ² /сут			а, м ² /сут			а, м ² /сут			км, м ² /сут			а, м ² /сут								
Наблюдательные скважины	центральные						центральные						центральные								
	20-166	7498	20-550	7233	20-166	7498	20-550	7233	20-166	7498	20-550	7233	20-166	7498	20-550	7233	20-166	7498	20-550	7233	
20-163		947				2.6×10 ⁶															
20-164	741			2157	0.5×10 ⁶			2.2×10 ⁶	0.5×10 ⁶												
20-165				2383				1.4×10 ⁶													
20-166	1286*	1249		1463				1.6×10 ⁶													
20-181																					
20-182																					
20-525		1024		2189				5.4×10 ⁶									936	351	977	1365	1.9×10 ⁶ 2.7×10 ⁶ 0.6×10 ⁶ 1.2×10 ⁶
20-526			2290					6.0×10 ⁶													
20-527				2089	1699			4.7×10 ⁶	3.1×10 ⁶												
20-528			1664					3.2×10 ⁶													
20-529	883		1811		1.2×10 ⁶			0.9×10 ⁶	1.2×10 ⁶												
20-530	846		1883		1.9×10 ⁶			5.4×10 ⁶	1.9×10 ⁶												
20-531			1974					5.2×10 ⁶													
20-532		1137	2074					2.1×10 ⁶													
20-550			2446*	1919				2.3×10 ⁶	2.3×10 ⁶												
20-551	963		2044	1957	2.1×10 ⁶			2.4×10 ⁶	2.0×10 ⁶												
7209			2120					5.9×10 ⁶													
7233		1124		2081*				2.8×10 ⁶									1122	351	1037	1255	2.5×10 ⁶ 0.3×10 ⁶ 0.7×10 ⁶ 1.0×10 ⁶
7234		457						2.2×10 ⁶													
7495	864			2383																	
7497	1064	835	1735		8.6×10 ⁶	2.7×10 ⁶	1.7×10 ⁶		8.5×10 ⁶	2.7×10 ⁶	1.8×10 ⁶										
7498		897*																			
7499		1058*																			
Среднее по пласту	894	968	1968	2443	3.5×10 ⁶	2.3×10 ⁶	3.9×10 ⁶	2.7×10 ⁶	2.8×10 ⁶	2.5×10 ⁶	3.6×10 ⁶	3.0×10 ⁶	3.0×10 ⁶	3.0×10 ⁶	3.0×10 ⁶	3.0×10 ⁶	1029	351	1007	1310	2.2×10 ⁶ 1.4×10 ⁶ 0.3×10 ⁶ 0.7×10 ⁶
Среднее по модулю			1568				3.1×10 ⁶										924				1.2×10 ⁶
Среднее по модели	км=1252, м ² /сут а=2.4×10 ⁶ м ² /сут																				

* - коэффициент водопроницаемости, определенный по центральным скважинам

Таблица 1. Параметры пласта, полученные по результатам кустовых откачек в рамках модели Тейса

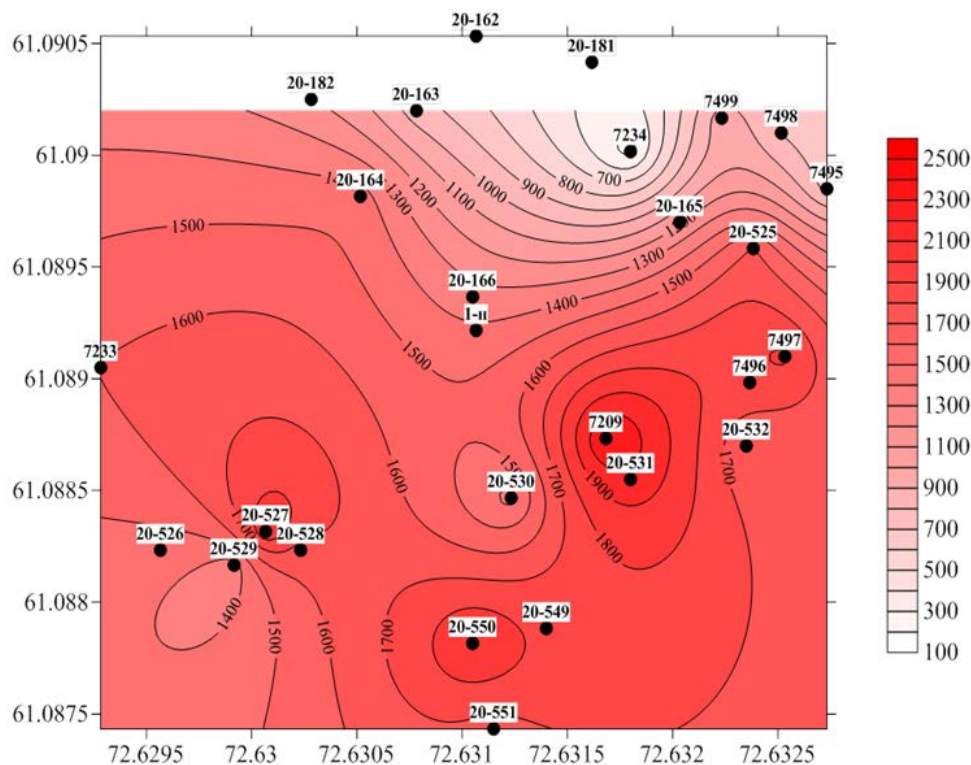


Рис. 4. Карта водопроводимости участка работ
(коэффициент водопроводимости определен в наблюдательных скважинах
опытных кустов в рамках модели Тейса)

Далее покажем, как влияет фильтрационная неоднородность горных пород на прогнозные расчеты при подсчете запасов пресных подземных вод на рассматриваемом месторождении.

Расчеты выполним по формулам, отвечающим модели Тейса, когда наступает квазистационарный гидродинамический режим. Понижение уровня воды в скважинах рассчитывается для наиболее нагруженной части водозабора к концу срока эксплуатации (25 лет) на объем водопотребления, равный 35,5 тыс. м³/сут.

Исходные данные к расчетам

1 вариант: коэффициент водопроводимости принимается минимальным полученным по участку водозабора — 894 м²/сут, коэффициент пьезопроводности — $3,5 \cdot 10^6$ м²/сут. В качестве дебита в формуле (1) используется значение 17,9 тыс. м³/сут, равное разности заявленной потребности (35,5 тыс. м³/сут) и среднему современному (17,6 тыс. м³/сут) водоотбору. Современный уровень подземных вод принимается — 19,7 м, выбрано максимальное значение по близкорасположенным скважинам к центру водозабора (по скв. 20–166).

Максимальное расчетное понижение складывается из следующих величин:

$$S_{\text{сум.}} = H_{\text{сов.}} + S_{\text{скв.}} - H_{\text{ст.}}, \quad (1)$$

где $S_{\text{сум.}}$ — максимальное прогнозное понижение уровня водозабора, м; $H_{\text{сов.}}$ — современный уровень подземных вод, м; $S_{\text{скв.}}$ — понижение уровня в центре «большого колодца», м; $H_{\text{ст.}}$ — статический уровень подземных вод в ненарушенных условиях, м.

Понижение уровня воды в центре «большого колодца» определяется по формуле (2) при подстановке в нее указанных ниже параметров [4, 5, 6]:

$$S_{\text{скв.}} = 0,366 \cdot Q_{\text{вод.}}/km \cdot \lg R_{\text{вл.}}/r, \quad (2)$$

где r — радиус «большого колодца» — 96 м; km — водопроницаемость водоносного горизонта — 894 м²/сут; Q — расчетный дебит водозабора — 17 900 м³/сут; $R_{\text{вл.}}$ — радиус влияния, м ($R_{\text{вл.}} = 1,5\sqrt{a \cdot t}$); a — пьезопроводность водоносного горизонта — $3,5 \cdot 10^6$ м²/сут.

$$S_{\text{скв.}} = 0,366 \cdot 17\,900/894 \cdot \lg 1,5\sqrt{3,5 \cdot 10^6 \cdot 365 \cdot 25/96} = 23,96 \text{ м.}$$

Таким образом, прогнозная максимальная величина снижения уровня воды в центре «большого колодца», вызванная увеличением водоотбора до 35,5 тыс. м³/сут, будет равна

$$S_{\text{сум.}} = 19,7 + 23,96 - 10 = 33,66 \text{ м.}$$

2 вариант: коэффициент водопроницаемости принимается максимальным полученным по участку водозабора — 2 443 м²/сут, коэффициент пьезопроводности — $2,7 \cdot 10^6$ м²/сут. Остальные параметры аналогичны параметрам, используемым в первом варианте.

Подставляя в формулы (1 и 2) параметры, получим прогнозные понижения для второго варианта

$$S_{\text{скв.}} = 0,366 \cdot 17\,900/2\,443 \cdot \lg 1,5\sqrt{2,7 \cdot 10^6 \cdot 365 \cdot 25/96} = 9,09 \text{ м.}$$

$$S_{\text{сум.}} = 19,7 + 9,09 - 10 = 18,79 \text{ м.}$$

3 вариант: коэффициент водопроницаемости принимается средним по опыту (см. табл. 1) — 1 568 м²/сут, коэффициент пьезопроводности — $3,1 \cdot 10^6$ м²/сут. Остальные параметры аналогичны параметрам, используемым в первом варианте.

Результаты расчетов прогнозного понижения сведены в таблицу 2.

Таблица 2

**Прогнозное понижение уровня воды по Нефтеюганскому месторождению
пресных подземных вод**

Вариант расчета	Коэффициент водопроницаемости, м ² /сут	Прогнозное понижение уровня воды, м	Отклонение от среднего, %
1	894	33,66	43
2	2 443	18,79	51
3	1 568	23,99	–

Выводы

Таблица 2 показывает, что в условиях, когда на исследуемом участке встречается фильтрационная неоднородность горных пород, необходимо наиболее адекватно выбирать полученные параметры по результатам гидродинамических исследований в качестве расчетных. В противном случае расчет прогнозных понижений при подсчете запасов пресных подземных вод может привести к ошибке — до 51 %.

Для сглаживания влияния неоднородности водоносного пласта на прогнозные расчеты необходимо знать ее размеры, в зависимости от размеров постановку опытов по определению параметров пласта планировать таким образом, чтобы размеры области возмущения пласта были больше или в крайнем случае соизмеримы с размерами элементов неоднородности. Тогда осредненные параметры, полученные по графикам $S - \lg t$ и $S - \lg r$, можно распространять на всю область эксплуатационного возмущения при прогнозном расчете.

Список источников

1. Курчиков, А. Р. Изучение состояния фильтрационной среды эоцено-четвертичного гидрогеологического комплекса Западно-Сибирского мегабассейна / А. Р. Курчиков, В. И. Козырев. – Текст : непосредственный // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2015. – № 5. – С. 33–37.
2. МIRONENKO, В. А. Теория и методы интерпретации опытно-фильтрационных работ / В. А. МIRONENKO, В. М. Шестаков. – Москва : Недра, 1978. – 325 с. – Текст : непосредственный.
3. БОРОВСКИЙ, Б. В. Методика определения параметров водоносных горизонтов по данным откачек / Б. В. БОРОВСКИЙ, Б. Г. САМСОНОВ, Л. С. ЯЗВИН ; под редакцией Л. С. ЯЗВИНА. – Москва : Недра, 1973. – 304 с. – Текст : непосредственный.
4. БОРОВСКИЙ, Б. В. Методические рекомендации «Оценка эксплуатационных запасов питьевых и технических подземных вод по участкам недр, эксплуатируемых одиночными водозаборами» / Б. В. БОРОВСКИЙ, Л. С. ЯЗВИН, В. П. ЗАКУТИН. – Москва : МПР РФ, ГГНППФ «ГИДЭК», 2001. – 62 с. – Текст : непосредственный.
5. БИНДЕМАН, Н. Н. Оценка эксплуатационных запасов подземных вод : методическое руководство / Н. Н. БИНДЕМАН, Л. С. ЯЗВИН ; Министерство геологии СССР, Всесоюзный научно-исследовательский институт гидрогеологии и инженерной геологии. – 2-е изд. – Москва : Недра, 1970. – 215 с. – Текст : непосредственный.

6. Синдаловский, Л. Н. Справочник аналитических решений для интерпретации опытно-фильтрационных опробований / Л. Н. Синдаловский ; Санкт-Петербургское отделение Института геоэкологии РАН, Санкт-Петербургский государственный университет. – Санкт-Петербург : Изд-во Санкт-Петербургского ун-та, 2006. – 767 с. – Текст : непосредственный.

References

1. Kurchikov, A. R., & Kozyrev, V. I. (2015). Study of filtration environment state of the eocene-quaternary hydro-geological complex of the Western-Siberian megabasin. *Environmental protection in oil and gas complex*, (5), pp. 33-37. (In Russian).
2. Mironenko, V. A., & Shestakov, V. M. (1978). *Teoriya i metody interpretatsii opytno-fil'tratsionnykh rabot*. Moscow, Nedra Publ., 325 p. (In Russian).
3. Borevskiy, B. V., Samsonov, B. G., & Yazvin, L. S. (1973). *Metodika opredeleniya parametrov vodonosnykh gorizontov po dannym otkachek*. Moscow, Nedra Publ., 304 p. (In Russian).
4. Borevskiy, B. V., Yazvin, L. S., & Zakutin, V. P. (2001). *Metodicheskie rekomendatsii "Otsenka ekspluatatsionnykh zapasov pit'evykh i tekhnicheskikh podzemnykh vod po uchastkam neдр, ekspluatiruemykh odinochnymi vodozaborami"*. Moscow, MPR RF, GGNPPF "GIDEK" Publ., 62 p. (In Russian).
5. Bindeman, N. N., & Yazvin, L. S. (1970). *Otsenka ekspluatatsionnykh zapasov podzemnykh vod: metodicheskoe rukovodstvo*. 2nd edition. Moscow, Nedra Publ., 215 p. (In Russian).
6. Sindalovskiy, L. N. (2006). *Spravochnik analiticheskikh resheniy dlya interpretatsii opytno-fil'tratsionnykh oprobovaniy*. St. Petersburg, St. Petersburg State University Publ., 767 p. (In Russian).

Информация об авторах / Information about the authors

Козырев Владимир Иванович, заведующий лабораторией, Тюменский индустриальный университет; научный сотрудник, Западно-Сибирский филиал Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, г. Тюмень, kozyrev-v@mail.ru

Васильев Юрий Владимирович, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, Западно-Сибирский филиал Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, г. Тюмень

Vladimir I. Kozyrev, Head of Laboratory, Industrial University of Tyumen; Researcher, West Siberian Division of Trofimuk Institute of Petroleum-Gas Geology and Geophysics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tyumen, kozyrev-v@mail.ru

Yuri V. Vasiliev, Candidate of Geology and Mineralogy, Senior Researcher, West Siberian Division of Trofimuk Institute of Petroleum-Gas Geology and Geophysics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tyumen

Статья поступила в редакцию 07.10.2023; одобрена после рецензирования 24.11.2023; принята к публикации 28.11.2023.

The article was submitted 07.10.2023; approved after reviewing 24.11.2023; accepted for publication 28.11.2023.