

УДК 556.38

DOI: 10.31660/0445-0108-2022-5-36-45

Влияние добычи подземных вод на фильтрационные свойства горных пород на территории Широтного Приобья

В. И. Козырев^{1, 2*}, В. А. Бешенцев¹

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. Актуальность темы обусловлена важностью проблемы охраны подземных вод на территориях, охваченных добычей нефти и газа. В статье уделяется внимание влиянию добычи подземных вод на состояние фильтрационной среды на небольших водных объектах. Исследования, включающие гидродинамические опробования (кустовые откачки), выполнены в течение девятилетнего периода на одном и том же участке. Опытные данные, полученные в результате проведения трех опытов, проинтерпретированы в рамках модели Хантуша. Определены параметры водоносной толщи: коэффициенты водопроводимости и пьезопроводности, фактор перетекания, коэффициент перетекания. Проанализированы изменения параметров пласта. В результате установлено, что продолжительная эксплуатация подземных вод на малых водных объектах так же приводит к улучшению состояния фильтрационной среды, как и на крупных месторождениях пресных подземных вод. В работе предложено недропользователю в условиях продолжительной добычи подземных вод уделять особое внимание мониторингу подземных вод, а именно гидродинамическим исследованиям, по результатам которых определяются гидрогеологические параметры пласта, а их изменения свидетельствуют о состоянии фильтрационной среды.

Ключевые слова: подземные воды, фильтрационная среда, автономный одиночный водозабор, кустовые откачки, коэффициенты водопроводимости и пьезопроводности, фактор перетекания

Для цитирования: Козырев, В. И. Влияние добычи подземных вод на фильтрационные свойства горных пород на территории Широтного Приобья / В. И. Козырев, В. А. Бешенцев. – DOI 10.31660/0445-0108-2022-5-36-45 // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2022. – № 5. – С. 36–45.

Influence of groundwater extraction on rock filtration properties in the territory of the Latitudinal Ob region

Vladimir I. Kozyrev^{1, 2*}, Vladimir A. Beshentsev¹

¹Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

²West 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. The problem of groundwater protection in areas, where oil and gas production is taking place, is especially important today. The article focuses on the impact of groundwater extraction on the state of the filtration medium in small water bodies. Studies including hydrodynamic testing (cluster pumping) were being carrying out from 9 years at the same site. As a result of three exper-

iments, experimental data were obtained, and then were interpreted in the framework of the Hantush model. The parameters of the aquifer are determined: coefficient of water conductivity and pressure conductivity factor, overflow factor, overflow coefficient. The article gives an analysis of changes in reservoir parameters. As a result, it was found that the long-term operation of groundwater in small water bodies also leads to an improvement in the state of the filtration medium, as well as in large deposits of fresh groundwater. It should be emphasized that in conditions of continuous extraction of groundwater the subsoil user should pay special attention to groundwater monitoring, namely, hydrodynamic studies, the results of which determine the hydrogeological parameters of the reservoir, and their changes indicate the state of the filtration medium.

Keywords: groundwater, filtration medium, autonomous single water intake, cluster pumping, coefficient of water conductivity and pressure conductivity factor, overflow factor

For citation: Kozyrev, V. I., & Beshentsev, V. A. (2022) Influence of groundwater extraction on rock filtration properties in the territory of the Latitudinal Ob region. Oil and Gas Studies, (5), pp. 36-45. (In Russian). DOI: 10.31660/0445-0108-2022-5-36-45

Введение

Ранее одним из авторов данной работы совместно с А. Р. Курчиковым в статье «Изучение состояния фильтрационной среды эоцен-четвертичного комплекса Западно-Сибирского мегабассейна» рассматривался вопрос влияния эксплуатации подземных вод на фильтрационные свойства горных пород, включающих подземные воды [1]. В упомянутой работе анализировалось состояние фильтрационной среды эоцен-четвертичного комплекса в основном на крупных месторождениях подземных вод, таких как Нефтеюганское, Ишимское (количество добывающих скважин изменяется от 20 до 26), которые эксплуатируются более 30 лет. В данной статье рассматривается влияние добычи подземных вод на фильтрационные свойства горных пород на маленьком водном объекте (автономном одиночном водозаборе), состоящем из трех водозаборных скважин.

Объект и методы исследования

Исследования выполнялись на водозаборном участке, расположенном на территории Приобского месторождения нефти, в Широком Приобье. Водозабор состоит из трех скважин, которые эксплуатируют атлым-новомихайловский водоносный комплекс ($P_{3at} + nm$), нижнюю его часть в интервале глубин от 257 до 285 м (рис. 1). Кровля продуктивного пласта залегает на глубине 255 м, подошва — на глубине 287 м, литологически пласт сложен песками мощностью 32 м. В кровле атлым-новомихайловского комплекса залегает водоупорный туртасский горизонт, в подошве — непроницаемые глинистые отложения тавдинской свиты, которые являются региональным водоупором. Отложения, перекрывающие продуктивный пласт, условно рассматриваются как относительный водоупор, способствующий, с одной стороны, формированию напоров, с другой — защищенности подземных вод. В связи с этим подземные воды водоносного атлым-новомихайловского комплекса — напорные межпластовые достаточно надежно защищены от поверхностного загрязнения.

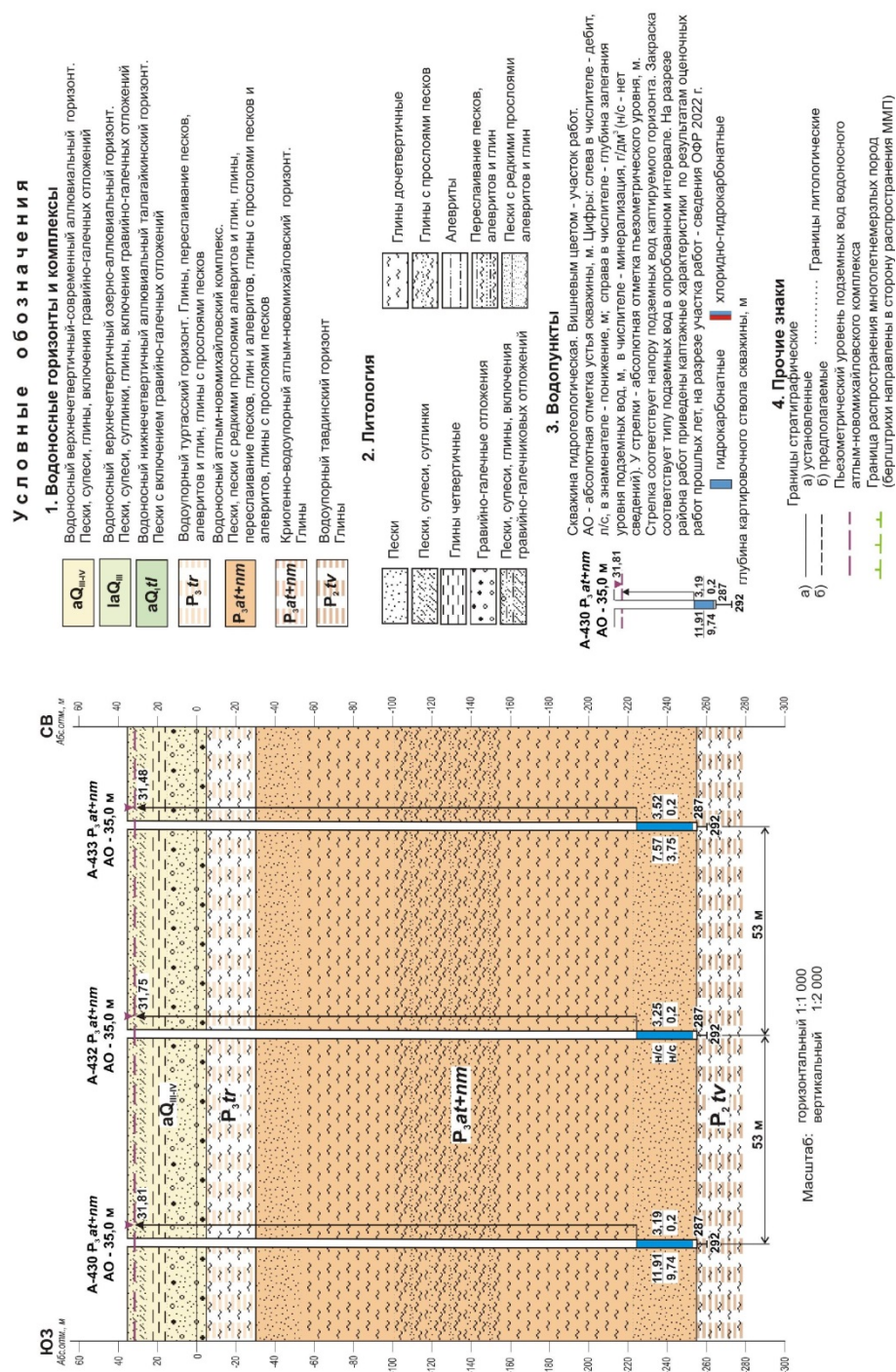


Рис. 1. Схематический гидрогеологический разрез

Подземные воды рассматриваемого водоносного комплекса (ВК) являются пресными (минерализация изменяется от 0,098 до 0,183 г/л), по значению рН нейтральными (преимущественное значение показателя лежит в интервале 6,9–7,69 ед). По химическому составу подземные воды ВК гидрокарбонатные, различного катионного состава с преобладанием натрия.

По физическим свойствам: на вкус пресные (0–4 баллов), с запахом (0–2,5 баллов), с цветностью до 75°. Общая жесткость изменяется от 0,69 до 1,68 мг-экв/дм³. По квалификации О. А. Алекина воды относятся к очень мягким. Содержание общего железа колеблется в пределах от 0,82 до 4,7 мг/дм³.

В подземных водах из микрокомпонентов встречены: марганец — до 0,47 мг/дм³, цинк — до 0,054 мг/дм³, ионная медь — до 0,02 мг/дм³. Скопление нефтепродуктов в рассматриваемой воде достигает до 0,15 мг/дм³, фенолов — до 0,0061 мг/дм³.

Ресурсы водоносного комплекса формируются за счет метеогенных вод, поступающих в комплекс посредством инфильтрации через толщу вышележащих отложений [2]. Разгрузка реализуется в местную эрозийную сеть скрытым перетеканием через вышележащие водоносные горизонты, совпадая с направлением общего потока подземных вод.

Как отмечалось выше, водозабор состоит из трех скважин, конструкция всех трех скважин одинаковая: сооружен кондуктор диаметром 426 мм, который установлен до глубины 45 м; смонтирована эксплуатационная колонна диаметром 245 мм до глубины 230 м; фильтровая колонна диаметром 146 мм установлена на глубине 210–287 м. Фильтр в скважину установлен сетчатый на перфорированном каркасе. Выполнена гравийная обсыпка фильтра, рабочая часть которого оборудована в интервале глубин 257–285 метров. Устья скважин размещены в металлических павильонах стандартной комплектации, которые закрываются на замок, отапливаются и освещаются. Территория водозабора ограждена металлическим забором, поверхность участка водозабора спланирована для отвода сточных и талых вод, отсыпана щебнем.

Водозаборный участок эксплуатируется с июля 2010 года. Вода используется для технического водоснабжения объектов нефтепромысла, со скважин поступает в накопительную емкость объемом 100 м³, далее в распределительную сеть непосредственно к объектам водопотребления. Водоотбор водозабора изменялся в среднегодовом отношении от 21 (2012–2013 гг.) до 387 м³/сут (2017 г.). В отдельные месяцы производительность скважин водозабора превышала значения 500 м³/сут, но не более 860 м³/сут. Для обеспечения водой объектов нефтепромысла водозабор эксплуатируется постоянно в течение суток и лет. В работе находится одна скважина из трех, две другие — в резерве.

Анализируя данные статического уровня подземных вод, полученные на момент строительства скважин в 2010 году и полученные в процес-

се контрольных замеров, выполненных в 2013 году, в 2020-м и в 2022-м, следует отметить, что его значения изменились незначительно. В 2010 году статический уровень находился на отметке 4,5 м от поверхности земли, в 2013 году его значения изменялись от 2,86 до 3,16 м, в 2020-м — от 3,35 до 3,55 м и в 2022-м — от 3,19 до 3,52 м. Приведенные данные говорят об относительно стабильном положении статического уровня подземных вод на рассматриваемом водозаборном участке за период эксплуатации водозабора. Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод, что сработки запасов подземных вод за годы эксплуатации не произошло, это дает основание предположить о работе водозабора в установленном режиме.

Впервые исследования на рассматриваемом участке выполнены в 2013 году, с целью получения исходного материала для подсчета запасов пресных подземных вод. Исследования включали проведение кустовой откачки [3], опытный куст состоял из одной возмущающей (центральной) скважины и двух наблюдательных. В качестве центральной скважины была выбрана скв. А-432, в качестве наблюдательных — скв. А-430 и А-433. Наблюдательные скважины расположены от центра возмущения на расстоянии 53 м (см. рис. 1). Откачка проведена в одну стадию, режим откачки предполагал снижение уровня воды, продолжительность опыта зависела от скорости стабилизации уровня в возмущающей скважине. В комплекс работ во время откачки входили замеры динамического уровня и дебита. Частота регистрации уровня стандартная, первые замеры через 1, 2, 3, 5, 10 минут, следующие — через 30 минут до конца опыта. Точность замеров уровня составляла 0,001 м. Для наблюдения за ходом снижения уровня воды в скважинах использовался электроконтактный уровнемер марки УСК-ТЭ-100. Дебит скважины замерялся по водомерному счетчику учета воды, контролировался объемным способом. Отвод откачиваемой воды из скважин осуществлялся в дренажную систему, тем самым исключая возможность ее влияния на уровень воды в скважине. Продолжительность опыта составила 3 часа. Опыт был начат 19.06.2013. Гидродинамическое возмущение в центре куста произведено при дебите 784 м³/сут, понижение составило 4,241 м. В наблюдательных скважинах понижение уровня достигло 0,443–0,445 м.

В 2020 году на рассматриваемом участке проведены исследования, аналогичные тем, которые были выполнены в 2013 году. Гидрогеологические работы были вызваны необходимостью осуществления переоценки запасов подземных вод из-за увеличения объемов водоотбора из скважин водозабора. Отличием являлся выбор центральной скважины в опытном кусте. Возмущающей скважиной назначалась скв. А-430, в качестве наблюдательных — скв. А-432 и А-433, которые находятся от центра возмущения на расстоянии 53 м (скв. А-432) и 106 м (скв. А-433). Продолжи-

тельность выполненной откачки — 5 часов, с дебитом 748 м³/сут. Понижение в центральной скважине составило 6,983 м, в наблюдательных — 0,311–0,512 метра.

В 2022 году в связи с увеличением производства и инфраструктуры на Приобском месторождении нефти возникла необходимость в увеличении водопотребления. Снова встал вопрос о проведении переоценки запасов подземных вод, для получения исходного материала были выполнены опытно-фильтрационные работы. Работы выполнены на скважинах водозабора, которые участвовали и в исследованиях в 2020 году. Опытный куст состоял из трех скважин, продолжительность опыта составила 24 часа. Дебит возмущения — 1 029 м³/сут. Понижение в центральной скважине (скв. А-430) составило 9,743 м, в наблюдательных скв. А-432 — 0,772 м, А-433 — 0,502 метра.

В период продолжительностью девять лет на одном и том же участке недр проведены три опыта, в результате которых оценены параметры водоносного пласта и граничные условия. Параметры определялись по опытными данным, полученным в наблюдательных скважинах. Полученная информация по наблюдательным скважинам свободна от технической составляющей центральной скважины. Опытная закономерность снижения уровня воды в наблюдательной скважине почти не подвержена влиянию прискважинных помех (несовершенства центральной скважины), при соблюдении условия $r \geq m$ [4], где r — расстояние между центральной и наблюдательной скважинами, m — мощность пласта. В нашем случае данное условие выполняется. Определяемые параметры являются более адекватными, чем параметры, рассчитанные по опытными данным, полученным в центральной скважине, и в большей степени соответствуют природным параметрам пласта, заключенного в разрезе изучаемого участка.

Интерпретация опытных данных проводилась в рамках модели М. С. Хантуша (по точке перегиба). Для определения коэффициентов водопроводимости (km), пьезопроводности (a), фактора перетекания (B) и коэффициента перетекания (k_0/m) строились графики временного прослеживания $S-lgt$ (рис. 2), которые имеют точки перегиба (Π). В этой точке меняется направление вогнутости кривой [1, 5]. Путем экстраполяции по фактическим данным находилась величина максимального понижения S_m . Рассчитывалось понижение уровня в точке перегиба: $S_{\Pi} = 0,5 \cdot S_m$. По графику определяли время для точки перегиба t_{Π} и наклон графика. Учитывая, что $f(r/B) = e^{r/B} K_0(r/B) = 2,3 \cdot S_{\Pi}/C$ по таблицам функции $e^{r/B} K_0(r/B)$, находилась величина r/B , зная r — параметр B . При известных Q , S_{Π} , C и r/B (табл. 1) из уравнения вычислялось значение km , а из соотношения $r^2/4at_{\Pi} = r/2B$ — коэффициент пьезопроводности a .

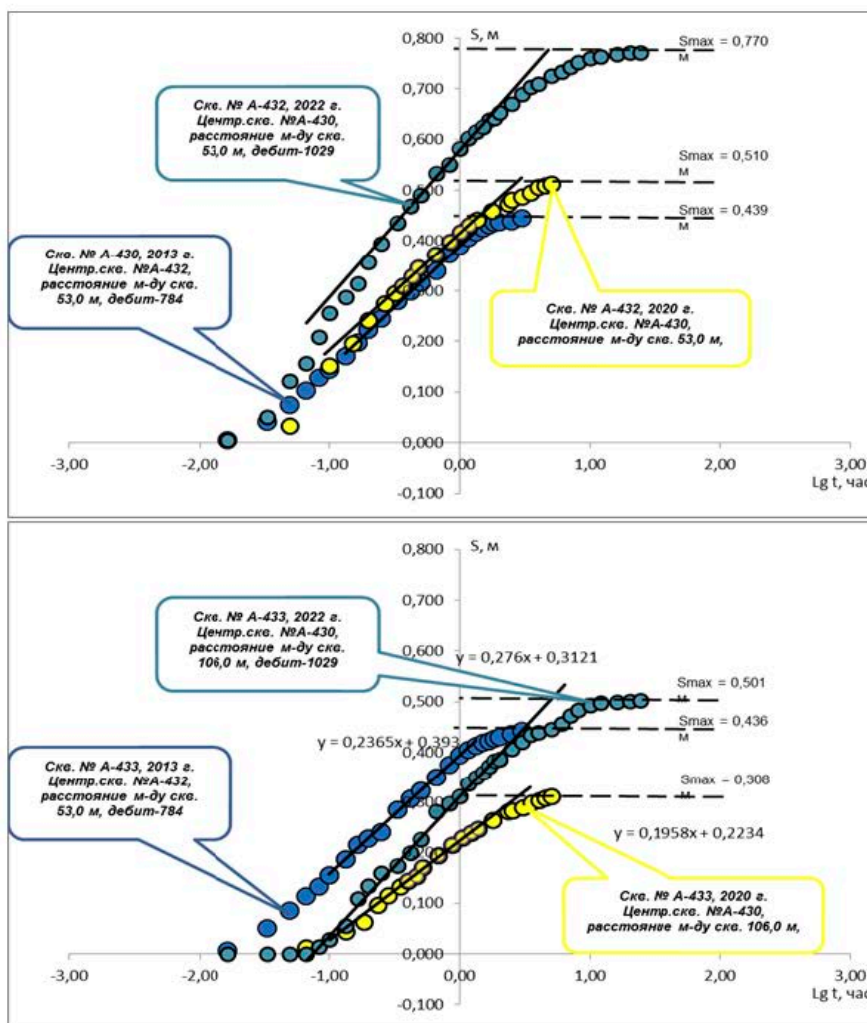


Рис. 2. Графики обработки откачек по модели с перетеканием
(графоаналитический метод Хантуша)

Таблица 1

Исходные данные для определения параметров

Дата (год)	Скважина		Q, м ³ /сут	Расстояние между скважина- ми (r), м	S _{max} , м	S _п , м	t _п , час	Наклон, С	e ^{r/B} K ₀ (r/B)	r/B	K ₀ (r/B)
	Централь- ная	Наблюда- тельная									
2013	А-432	А-430	784	53	0,44	0,22	0,2	0,24	2,0691	0,22	1,67
2013	А-432	А-433	784	53	0,44	0,22	0,17	0,24	2,1156	0,21	1,66
2020	А-430	А-432	748	53	0,51	0,255	0,23	0,23	2,5280	0,45	2,29
2020	А-430	А-433	748	106	0,31	0,15	0,47	0,196	1,8071	0,32	1,31
2022	А-430	А-432	1 029	53	0,77	0,385	0,24	0,29	3,0325	0,07	2,78
2022	А-430	А-433	1 029	106	0,50	0,25	0,58	0,27	2,1742	0,19	1,8

Результаты

В результате выполнения гидродинамических исследований в виде кустовых откачек на небольшом водном объекте в разное время получены следующие параметры олигоценового комплекса: коэффициенты водопроницаемости и пьезопроводности, фактор перетекания, коэффициент перетекания. Значения указанных параметров за время эксплуатации одиночного автономного водозабора изменились (табл. 2), изменения показывают, что состояние фильтрационной среды улучшилось. Фильтрационные параметры, а именно коэффициент водопроницаемости за девять лет эксплуатации водозабора увеличился с 475 до 591 м²/сут. Также увеличился и коэффициент пьезопроводности, в 2013 году его значение составляло $4,3 \cdot 10^5$ м²/сут, в 2022 году — $8,6 \cdot 10^5$ м²/сут, и фактор перетекания — с 246 до 681 м. Коэффициент перетекания уменьшился с 0,008 до 0,001 1/сут.

Таблица 2

Результаты определения параметров на рассматриваемом объекте

Год опытных работ	Средние значения гидрогеологических параметров			
	Коэффициент водопроницаемости, м ² /сут	Коэффициент пьезопроводности, м ² /сут	Фактор перетекания, м	Коэффициент перетекания, 1/сут
2013	475	$4,3 \cdot 10^5$	246	0,008
2020	522	$5,4 \cdot 10^5$	386	0,004
2022	591	$8,6 \cdot 10^5$	681	0,001

Такие изменения параметров свидетельствуют об улучшении состояния фильтрационной среды продуктивного пласта. Фильтрационные свойства перекрывающих отложений остались неизменными или несколько ухудшились, о чем свидетельствуют изменения значений таких параметров, как фактор перетекания и коэффициент перетекания. Увеличение значений коэффициентов водопроницаемости и пьезопроводности за время эксплуатации указывает на увеличение водопритоков в продуктивном пласте. Постоянная и продолжительная эксплуатация объекта формирует в фильтрационной среде пласта благоприятную ситуацию для увеличения потоков воды по сформировавшимся каналам в продуктивном горизонте (изменяется во времени состояние отложений эксплуатируемого водоносного горизонта).

В нашем случае эксплуатационный водоотбор водозабора перекрывается емкостными запасами водоносного горизонта, запасов достаточно, чтобы восполнить отбор, равный дебиту скважины, без привлечения дополнительного питания водоносного горизонта. Фильтрационные потоки формируются в границах продуктивного пласта. Длительное возмущение приводит к изменению состояния фильтрационной среды пласта.

Выводы

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что продолжительная добыча подземных вод приводит к изменению фильтрационных свойств горных пород, слагающих разрез не только на крупных месторождениях подземных вод, но и на небольших водных объектах. Отличие состоит в том, что на крупных месторождениях пресных подземных вод степень гидродинамического возмущения (дебит эксплуатационной откачки) масштабнее, чем на автономных одиночных водозаборах. В связи с этим на крупных месторождениях изменение состояния фильтрационной среды происходит во всей толще эоцен-четвертичного комплекса. Состояние фильтрационной среды комплекса улучшается, что увеличивает степень восполняемости запасов пресных подземных вод, за счет инфильтрации метеогенных вод по образующим вертикальным каналам, формирование водопритоков происходит в условиях активизированного процесса перестройки фильтрующих каналов [6]. На небольших водных объектах продолжительная эксплуатация приводит к изменению фильтрационной среды продуктивного пласта, активизируется процесс перестройки фильтрующих каналов внутри пласта. Емкостные запасы полностью обеспечивают эксплуатационный дебит водозабора.

Таким образом, параметры, характеризующие фильтрационную среду месторождений и участков пресных подземных вод, изменяются со временем их эксплуатации, и динамика изменений параметров является индикатором ее состояния. Недропользователю при выполнении условий пользования недрами необходимо уделять особое внимание гидродинамическим исследованиям при проведении мониторинга подземных вод, по результатам которых определяются гидрогеологические параметры пласта.

Список источников

1. Курчиков, А. Р. Изучение состояния фильтрационной среды эоцен-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. Матусевич, В. М. Геофлюидальные системы и проблемы нефтегазоносности Западно-Сибирского мегабассейна / В. М. Матусевич, А. В. Рыльков, И. Н. Ушатинский. – Тюмень : ТюмГНГУ, 2005. – 225 с. – Текст : непосредственный.
3. МIRONENKO, В. А. Теория и методы интерпретации опытно-фильтрационных работ / В. А. МIRONENKO, В. М. Шестаков. – Москва : Недра, 1978. – 325 с. – Текст : непосредственный.
4. БОРОВСКИЙ, Б. В. Методика определения параметров водоносных горизонтов по данным откачек / Б. В. БОРОВСКИЙ, Б. Г. САМСОНОВ, Л. С. ЯЗВИН. – Москва : Недра, 1973. – 303 с. – Текст : непосредственный.
5. ХАНТУШ, М. С. Анализ данных опытных откачек из скважин в водоносных горизонтах с перетеканием / М. С. Хантуш. – DOI 10.1029/TR037i006p00702. – Текст : непосредственный // Вопросы гидрогеологических расчетов : сборник статей. – Москва : Мир, 1964. – С. 27–42.

6. Резник, А. Д. Эксплуатационные запасы пресных подземных вод Тура-Тавдинского междуречья (Нижнетавдинский район) / А. Д. Резник, В. И. Козырев, Ю. К. Смоленцев. – Текст : непосредственный // Проблемы нефтегазовой гидрогеологии и инженерной геологии Западной Сибири : межвузовский сборник научных трудов. – Тюмень : ТюмГНГУ, 1994. – С. 89–97.

References

1. Kurchikov, A. R., & Kozyrev, V. I. (2015). Study of filtration environment state of the Eocene-Quaternary hydrogeological complex of the Western-Siberian megabasin. Prospects for the leaching of metals in oil, (5), pp. 33-37. (In Russian).
2. Matusevich, V. M., Ryl'kov, A. V., & Ushatinskiy, I. N. (2005). Geoflyuidal'nye sistemy i problemy neftegazonosnosti Zapadno-Sibirskogo megabasseyana. Tyumen, Tyumen State Oil and Gas University Publ., 225 p. (In Russian).
3. Mironenko, V. A., & Shestakov, V. M. (1978). Teoriya i metody interpretatsii opytно-fil'tratsionnykh rabot. Moscow, Nedra Publ., 325 p. (In Russian).
4. Borevskiy, B. V., Samsonov, B. G., & Yazvin, L. S. (1973). Metodika opredeleniya parametrov vodonosnykh gorizontov po dannym otkachek. Moscow, Nedra Publ., 303 p. (In Russian).
5. Hantush, M. S. (1956). Analysis of data from pumping tests in leaky aquifers. Transactions, American Geophysical Union, 37(6), pp. 702-714. (In English). DOI: 10.1029/TR037i006p00702
6. Reznik, A. D., Kozyrev, V. I., & Smolentsev, Yu. K. (1994). Eksploatatsionnye zapasy presnykh podzemnykh vod Tura-Tavdinskogo mezhdurech'ya (Nizhnetavdinskiy rayon). Problemy neftegazovoy gidrogeologii i inzhenernoy geologii Zapadnoy Sibiri: mezhvuzovskiy sbornik nauchnykh trudov. Tyumen, Tyumen State Oil and Gas University Publ., pp. 89-97. (In Russian).

Информация об авторах

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

Бешенцев Владимир Анатольевич, доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры геологии месторождений нефти и газа, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

Information about the authors

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

Vladimir A. Beshentsev, Doctor of Geology and Mineralogy, Professor at the Department of Geology of Oil and Gas Fields, Industrial University of Tyumen

Статья поступила в редакцию 14.09.2022; одобрена после рецензирования 04.10.2022; принята к публикации 07.10.2022.

The article was submitted 14.09.2022; approved after reviewing 04.10.2022; accepted for publication 07.10.2022.