Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal https://esj.today

2024, Том 16, № 2 / 2024, Vol. 16, Iss. 2 https://esj.today/issue-2-2024.html

URL статьи: https://esj.today/PDF/19NZVN224.pdf

2.8.4. Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений (технические науки)

Ссылка для цитирования этой статьи:
Мулявин, С. Ф. Особенности гидрогеологического комплекса Среднего Приобья / С. Ф. Мулявин, И. Г. Стешенко, О. А. Баженова // Вестник евразийской науки. — 2024. — Т. 16. — № 2. — URL: https://esj.today/PDF/19NZVN224.pdf

For citation:
Mulyavin S.F., Steshenko I.G., Bazhenova O.A. Features of the hydrogeological complex of the Middle Ob. *The Eurasian Scientific Journal*. 2024;16(2): 19NZVN224. Available at: https://esj.today/PDF/19NZVN224.pdf. (In Russ., abstract in Eng.)

УДК 556.3:504.61 (571.1)

Мулявин Семён Фёдорович
ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, Россия
Профессор кафедры «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений»
Доктор технических наук, доцент
E-mail: muljavinsf@tyuiu.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4768-8511
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=389398

Стешенко Ирина Георгиевна
ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, Россия
Инженер
E-mail: steshenkoig@tyuiu.ru

Баженова Ольга Александровна
ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, Россия
Лаборант
E-mail: bazhenovaoa@tyuiu.ru

Особенности гидрогеологического комплекса Среднего Приобья

Аннотация. В данной работе, на примере нефтегазового месторождения Западной Сибири, рассмотрены гидрогеологические условия лицензионного участка с сформировавшимися водоносными комплексами, используемыми как источник воды для системы поддержания пластового давления в нефтяных пластах. Водозабор, созданный на месторождении, позволяет решить проблему регулирования систем заводнения на разрабатываемых нефтяных объектах.

Цель исследований — выявление геологических, гидродинамических и технологических критериев оптимального отбора воды из водоносных горизонтов.

Объектами исследований выступают водоносные горизонты центральной части Западно-Сибирского артезианского бассейна. В геологическом разрезе выделяются верхний и нижний гидрогеологические этажи с четко выраженной гидродинамической и гидрохимической зональностью. Регионально распространенная толща глинистых пород турон-эоценового возраста надежно изолирует пресные воды верхнего гидрогеологического этажа от минерализованных термальных вод нижнего. Верхний гидрогеологический этаж включает олигоцен-четвертичный водоносный комплекс, представленный толщей континентальных отложений различного генезиса общей мощностью порядка 200 м и более.

Грунтовые воды четвертичных отложений слабо защищены от поверхностных загрязнений. Основным источником хозяйственно-питьевого водоснабжения являются напорные воды повсеместно распространенных водоносных атлымского и новомихайловского горизонтов. Нижний гидрогеологический этаж заключает в себе высоконапорные минерализованные, термальные воды, находящиеся в условиях затрудненного водообмена, в состав которого входят апт-альб-сеноманский, неокомский, берриас-валанжинский и юрский водоносные комплексы, области питания которых находятся на краевых обрамлениях бассейна. Согласно общей гидрогеологической карте территории РФ район работ относится к Иртыш-Обскому артезианскому бассейну — структуре II порядка. В районе месторождения наблюдается нормальная гидрохимическая зональность, закономерный рост минерализации вод с глубиной.

Методы исследований основаны на использовании известных методов анализа и математической статистики.

Авторами проведен анализ эффективности водозабора, созданного на месторождении. Показано, что подземные воды, используемые для целей поддержания пластового давления, положительно сказываются на увеличении добычи нефти и достижении утвержденного коэффициента извлечения нефти.

Ключевые слова: месторождение; водоносный комплекс; грунтовые воды; водоснабжение; система поддержания пластового давления; минерализация вод; фильтрационные параметры коллекторов

Введение

Рассмотрим нефтегазовое месторождение Западной Сибири. На лицензионном участке, где располагается интересующее нас месторождение, в качестве источника заводнения для системы поддержания пластового давления в нефтяных пластах активно эксплуатируется неокомский водоносный комплекс.

Согласно «Тектонической карте мезозойско-кайнозойского ортоплатформенного чехла Западно-Сибирской геосинеклизы» [1–4], рассматриваемый район расположен на Нижневартовском своде. Границы участка охватывают одноименное куполовидное поднятие, плавно переходящее на севере в Большечерногорский структурный мыс, на северо-западе — в Западно-Самотлорский малый прогиб и Соснинский малый вал. На южной части участка выделяется ряд локальных поднятий различных по конфигурации, размерам и простиранию, осложняющих структуры II порядка.

Район работ расположен в центральной части Западно-Сибирского артезианского бассейна. В его разрезе выделяются верхний и нижний гидрогеологические этажи с четко выраженной гидродинамической и гидрохимической зональностью [5–7]. Регионально распространенная толща глинистых пород турон-эоценового возраста (в рассматриваемом районе мощностью около 650–750 м) надежно изолирует пресные воды верхнего гидрогеологического этажа от минерализованных термальных вод нижнего.

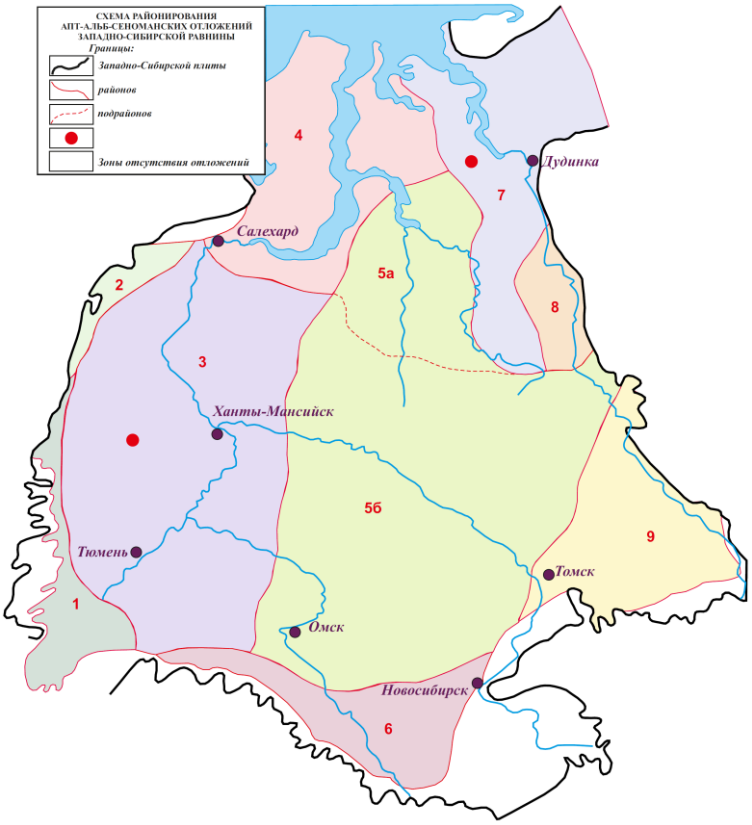
Согласно общей гидрогеологической карте территории РФ район работ относится к Иртыш-Обскому артезианскому бассейну — структуре II порядка (рис. 1).

Верхний гидрогеологический этаж включает ***олигоцен-четвертичный водоносный комплекс***, представленный толщей континентальных отложений различного генезиса общей мощностью порядка 200 м и более. Комплекс характеризуется свободным водообменом и содержит пресные инфильтрационные воды. Грунтовые воды четвертичных отложений слабо защищены от поверхностных загрязнений. Основным источником хозяйственно-питьевого водоснабжения являются напорные воды повсеместно распространенных *водоносных атлымского и новомихайловского горизонтов* суммарной мощностью до 180–200 м.

19NZVN224
Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

В кровельной части водоупорного турон-эоценового комплекса залегает *водоносный тавдинский горизонт*, отделенный от проницаемых отложений олигоцена выдержанной толщей глин верхней части одноименной свиты. Данный горизонт в районе работ имеет локальное распространение и также эксплуатируется для питьевого и технического водоснабжения.

Нижний гидрогеологический этаж заключает в себе высоконапорные минерализованные, термальные воды, находящиеся в условиях затрудненного водообмена. В состав нижнего этажа входят апт-альб-сеноманский, неокомский, берриас-валанжинский и юрский (совместно с проницаемыми образованиями коры выветривания фундамента) водоносные комплексы, области питания которых находятся на краевых обрамлениях бассейна, подземный сток незначительный, разгрузка вод в региональном плане происходит путем восходящей фильтрации из нижних комплексов в верхние (рис. 2).



Районы и подрайоны: 1 — Северное, Среднее и Южное Зауралье; 2 — Полярное и Приполярное Зауралье; 3 — Березово-Тюменский; 4 — Полуйско-Ямало-Гыданский; 5 — Омско-Уренгойский; 5а — Тазовско-Уренгойский; 5б — Омско-Ларьякский; 6 — Киялино-Кулундинский; 7 — Усть-Енисейский; 8 — Туруханский; 9 — Чулымо-Енисейский

Districts and subdistricts: 1 — Northern, Middle and Southern Trans-Urals; 2 — Polar and Subpolar Trans-Urals; 3 — Berezovo-Tyumen; 4 — Poluysko-Yamalo-Gydansky; 5 — Omsk-Urengoi; 5a — Tazovsky-Urengoisky; 5b — Omsk-Laryaksky; 6 — Kiyalino-Kulundinsky; 7 — Ust-Yeniseisky; 8 — Turukhansky; 9 — Chulym-Yeniseisky

Рисунок 1. *Схема районирования апт-альб-сеноманских отложений Западно-Сибирской равнины (выкопировка из региональной стратиграфической схемы мезозоя Западно-Сибирской плиты)*[1]

Figure 1. *The zonation scheme of the Apt-Alb Sienomanian deposits of the West Siberian Plain (copying from the regional stratigraphic scheme of the Mesozoic West Siberian Plain)*[1]

[1] Матусевич В.М., Курчиков А.Р., Семенова Т.В. и др. Нефтегазовая гидрогеология Западно-Сибирского мегабассейна: учебное пособие. Тюмень: ТюмГНГУ, 2008. — 100 с.

19NZVN224
Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

В районе месторождения наблюдается нормальная гидрохимическая зональность, закономерный рост минерализации вод с глубиной. Пластовые воды имеют хлоркальциевый тип по В.А. Сулину, для них характерно относительно повышенное содержание микрокомпонентов, бессульфатность и бескарбонатность. Состав водорастворенных газов преимущественно метановый.

Основными гидродинамическими параметрами являются коэффициент фильтрации ($К_ф$), водопроводимость (КМ) и коэффициент пьезопроводности (a) пород коллектора [8–10].

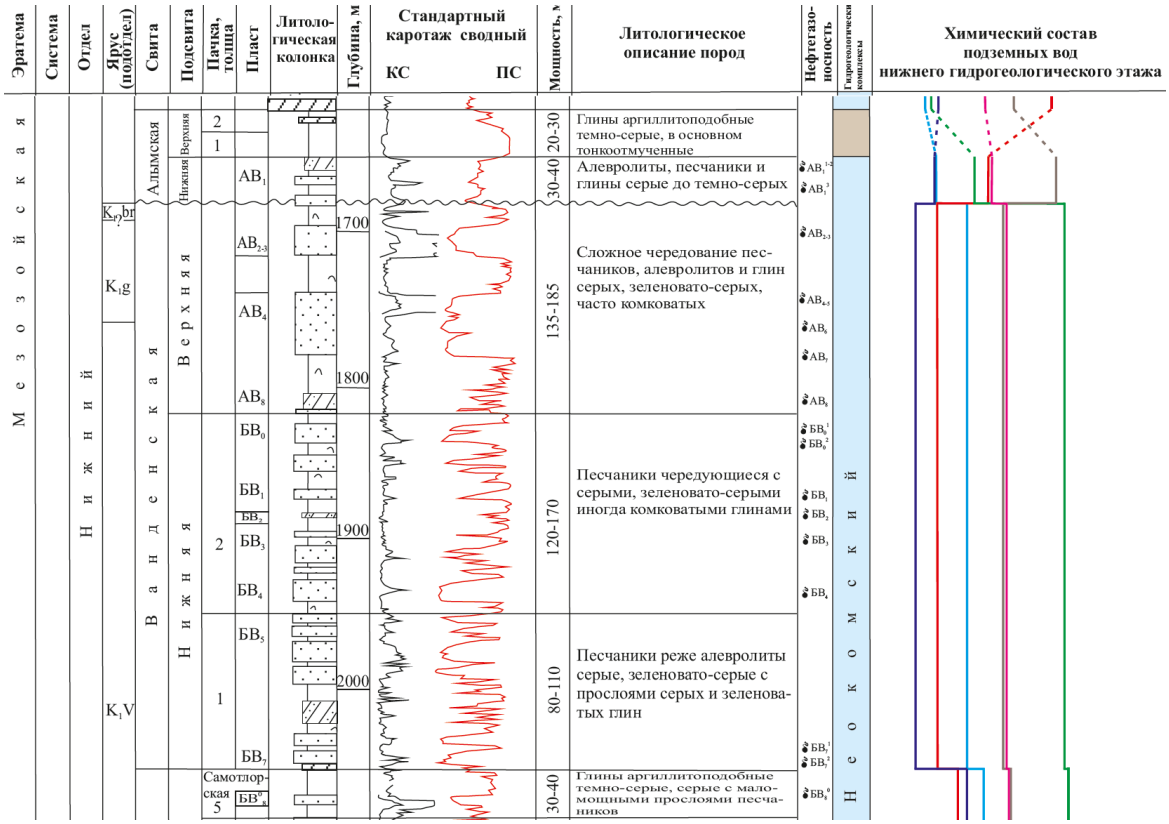


Рисунок 2. *Сводный геолого-гидрогеологический разрез*[1]

Figure 2. *Composite geological and hydrogeological section*[1]

К водам, используемым в системе ППД (поддержания пластового давления), предъявляются определенные требования: их физико-химические свойства должны обеспечить продолжительную устойчивую приемистость пластов и высокую нефтеотдачу. Эффективность их использования определяется геологическими и технологическими факторами, а именно: химический состав, температура, плотность, вязкость, коррозионная активность, количество механических примесей и нефтепродуктов и др. Требования к качеству воды устанавливает отраслевой стандарт.[2]

Неокомский водоносный комплекс месторождения является частью регионально выдержанного комплекса и включает в себя группу пластов $АВ_{4-8}$ верхневанденских и $БВ_{0-7}$ нижневанденских отложений. От вышезалегающего пласта $АВ_{2-3}$ объект отделён глинистой перемычкой мощностью 6–23 м, снизу объект подстилается глинами самотлорской пачки толщиной 18–30 м. Группы пластов АВ и БВ в пределах изучаемой территории разделены глинами покачевской пачки мощностью порядка 5–9 м, достигая 30 м.

[2] ОСТ 39-225-88 «Вода для заводнения нефтяных пластов. Требования к качеству», М., 1988, 22 с.

19NZVN224
Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

Представлены породы чередованием крупных линзовидных тел песчаников, алевролитов и глин со сложными фациальными замещениями в вертикальном разрезе и плане. Чаще всего встречаются песчаники разноотсортированные, с алевритистой или глинистой примесями. Алевролиты иногда опесчанены или содержат глинистую примесь в значительных количествах. Глинистые прослои неоднородны.

Добываемые воды отложений ванденской свиты сохраняют хлоридный натриевый состав и хлоркальциевый тип по В.А. Сулину. По величине минерализации воды относятся к подгруппе сильносолоноватых (минерализация 22,5–24,9 г/дм^3). Активная среда — нейтральная (pH = 6,3–7,1), коэффициент метаморфизации rNa/rCl равен 0,79–0,81. Плотность вод — 1,016–1,018 г/см^3.

Для определения фильтрационных параметров коллекторов эксплуатационного объекта использовалось среднее значение минерализации подземных вод — 23,7 г/дм^3 (пласты АВ$_{4-8}$), 23,4 г/дм^3 (пласты БВ$_{0-7}$).

Эксплуатационный объект — группа пластов АВ$_{4-8}$ характеризуется общей мощностью 104,0–173,0 м при среднем значении 130,4 м. На большей части участка значения параметра колеблются в пределах 110–130 м, равномерно увеличиваясь в северо-западном направлении. Эффективная мощность объекта составляет 33,0–90,4 м (в среднем 62,4 м). Распределение параметра в плане неоднородное, минимальное значение наблюдается в скв. 797R, максимальное — в скв. 200R. На долю проницаемых отложений приходится чуть меньше половины от общего объема пород — 47,8 %.

Общая водопроводимость в разведочных скважинах по пластам АВ$_{4-8}$ изменяется от 20,4 м^2/сут до 117,8 м^2/сут, средневзвешенное значение по территории участка составляет 57,4 м^2/сут. Средневзвешенное значение коэффициента пьезопроводности составляет 7,8×10^5 м^2/сут.

Эксплуатационный объект — группа пластов БВ$_{0-7}$ характеризуется общей мощностью 178,2–253,6 м, в среднем составляя 226,2 м. В районе водозаборных узлов толщина объекта колеблется в пределах 220–240 м. Мощность проницаемых отложений в среднем составляет 110,1 м. В плане эффективная мощность варьирует от 68,2 (скв. 36R) до 151,8 (скв. 46R) м, в районе водозаборных скважин — в диапазоне 110–150 м. Среднее значение коэффициента песчанистости — 48,7 %.

Общая водопроводимость в разведочных скважинах по пластам БВ$_{0-7}$ изменяется от 10,9 м^2/сут (скв. 195R) до 155,5 м^2/сут (скв. 200R), средневзвешенное значение по территории участка составляет 69,3 м^2/сут. Средневзвешенное значение коэффициента пьезопроводности составляет 6,11×10^5 м^2/сут.

По итогам интерпретации гидропрослушивания пласта БВ$_4$ между водозаборными скважинами 5007Е и 5062Е были определены значение водопроводимости и коэффициент пьезопроводности коллекторов. В результате обработки гидропрослушивания было получено значение водопроводимости пласта БВ$_4$ — 7,9 м^2/сут и коэффициент пьезопроводности — 6×10^5 м^2/сут.

При расчете прогнозных понижений уровней в водозаборных скважинах месторождения по объекту АВ$_{4-8}$ принят коэффициент пьезопроводности определенный по результатам геофизических исследований в разведочных скважинах — a = 7,8 × 10^5 м^2/сут, значение водопроводимости, определенное по результатам гидродинамических исследований и пересчитанное на всю эффективную мощность объекта — km = 27,3 м^2/сут, т. к. с учетом инженерного запаса эта величина является минимальной (из определенных по гидродинамическим исследованиям и пересчитанной на всю эффективную мощность объекта).

19NZVN224
Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

По объекту $БВ_{0-7}$ значения коэффициента пьезопроводности — а = 6×10^5 $м^2$/сут принято по результатам гидропрослушивания, коэффициент водопроводимости определен по результатам гидродинамических исследований и пересчитан на всю эффективную мощность объекта — km = 87,9 $м^2$/сут, т. к. с учетом инженерного запаса эта величина является минимальной (из определенных по гидродинамическим исследованиям и пересчитанной на всю эффективную мощность объекта).

Добыча подземных вод с целью ППД на одном, отдельно взятом, месторождении Среднего Приобья

Водопотребление и водоотведение промышленных объектов нефтегазового месторождения обусловлено технологическими условиями его работы и потребностями производственного процесса.

Водные объекты (подземные гидрогеологические горизонты) используются с целью:

1. Забора (изъятия) водных ресурсов для технологических нужд.
2. Сброса сточных вод в подземные горизонты.

Нормирование водопотребления и водоотведения — это установление плановой меры потребления воды и отвода сточных вод с учетом качества потребляемой и отводимой воды.

Разработка неокомского комплекса на территории рассматриваемого месторождения с целью добычи подземных вод для технологического применения в системе поддержания давления ведется с 1999 г. [11; 12]. Добыча подземных вод осуществляется на водозаборных участках, которые имеют статус горного отвода с ограничением по глубине до 1986 м.

Проектная схема водозаборного сооружения, принятая при подсчете запасов подземных вод, предусматривает выделение двух объектов добычи подземных вод $АВ_{4-8}$ и $БВ_{0-7}$. Причем на объекте $АВ_{4-8}$ предусматривается 17 водозаборных скважин, на объекте $БВ_{0-7}$ — 6 водозаборных скважин.

Величина максимально возможного водоотбора устанавливается в объеме, не превышающем утвержденные запасы подземных вод. Примем ее равной 7,5 тыс. $м^3$/сут. При этом допустимое понижение уровня подземных вод составляет 300 м.

Проектные решения, характеризующие добычу подземных вод месторождения, следующие:

- объектом добычи подземных вод является неокомский водоносный комплекс в объеме пластов $АВ_{4-8}$ и $БВ_{0-7}$ ванденской свиты;
- водозаборный фонд состоит из 24 скважин, из которых 18 в работе, 5 в бездействии, одна пьезометрическая;
- суточная добыча подземных вод — 7,5 тыс. $м^3$/сут;
- понижение динамического уровня в скважинах за 25 лет — не более 550 м от устья скважин для объекта $АВ_{4-8}$ и 1 300 м для объекта $БВ_{0-7}$;
- способ добычи — механизированный с применением ЭЦН;
- технология добычи — добыча из водозаборной скважины и закачка в нагнетательные скважины на кустовой площадке;
- технология водоподготовки подземных вод — отсутствует.

19NZVN224
Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

Система предварительной водоподготовки подземных вод отсутствует, так как данные воды соответствуют типу пластовых вод эксплуатационных объектов (Ю, БВ, АВ) и их подготовки не требуется.

Закачка подземных вод в продуктивные пласты на скважинах организована по схеме «из водозаборной скважины в эксплуатационные скважины». Принцип данной системы заключается в том, что извлекаемая посредством высоконапорного насосного оборудования вода из водозаборных скважин через блок гребенку распределяется в нагнетательные скважины и закачивается в продуктивный пласт, в пределах одного куста.

Водозаборные скважины по своей конструкции являются эксплуатационными, пробуренными в разные годы на различные эксплуатационные объекты и выполнившие свое проектное назначение. Две скважины имеют направление D324-426 глубиной спуска 60–77 м. Все скважины имеют кондуктор D245 глубиной спуска 410–965 м, цементированный до устья. Эксплуатационная колонна имеет D146-168, глубина спуска до продуктивного пласта (от 1983 до 3 660 м). Перфорация целевого пласта осуществлялась различными типами перфораторов плотностью от 10 до 20 отв/м. Все скважины оборудованы фонтанной арматурой типа АФК3, АФЗК, АНК и др. Водозаборные скважины оборудованы насосами ЭЦН, спущенными на НКТ диаметром 73 или 89 мм на глубину 704–2 040 м. Техническое состояние скважин удовлетворительное, эксплуатационная колонна герметична. Все насосы высокопроизводительные, причем дебит воды менее 200 м^3/сут — на 2 скважинах, от 200 до 500 м^3/сут на 9 скважинах, 500 м^3/сут и более — на 3 скважинах.

Всего за рассмотренный период из неокомского комплекса извлечено 8 464,0 тыс. м^3 подземных вод (рис. 3). Учет добычи неокомской воды по скважинам ведется с начала работы водозаборов, дебиты фиксируются при помощи счетчиков.

Для производства наблюдений за режимом добычи все водозаборные скважины оснащены индивидуальными счетчиками расхода жидкости типа СВУ-50 (счетчик воды универсальный D50 мм номинального дебита 30 м^3/час) и СВУ-200 (счетчик воды универсальный D200 мм номинального дебита 750 м^3/час).

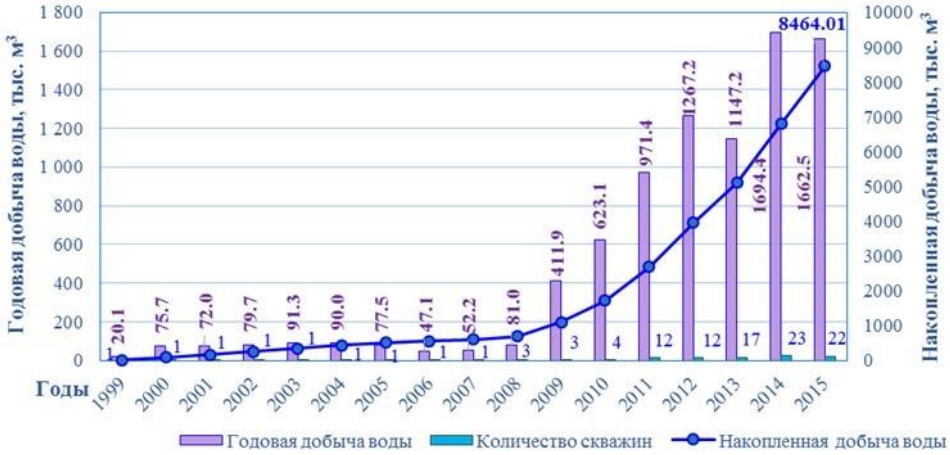


Рисунок 3. *Динамика добычи подземных вод на месторождении (разработано авторами)*

Figure 3. *Dynamics of groundwater extraction at the field (developed by the authors)*

Средний уплотненный дебит на скважину в 2015 г. изменялся в пределах от 21,3 м^3/сут до 796,6 м^3/сут. Фактические уплотненные дебиты водозаборных скважин соответствуют проектной нагрузке по скважинам, которая находится в диапазоне от 100 до 1 000 м^3/сут.

19NZVN224
Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

Неокомские пласты $АВ_{4-8}$ и $БВ_{0-7}$ в пределах данного района рассматриваются как разобщенные гидродинамические резервуары. Исследуемый интервал является частью регионально выдержанного неокомского водоносного комплекса и включает группу пластов $АВ_{4-8}$ верхневанденских и $БВ_{0-7}$ нижневанденских отложений. От вышезалегающего пласта $АВ_{2-3}$ объект отделён глинистой перемычкой мощностью 6–23 м, снизу объект подстилается глинами самотлорской пачки толщиной 18–30 м. Группы пластов АВ и БВ в пределах изучаемой территории разделены глинами покачевской пачки мощностью порядка 5–9 м, достигая 24 м.

Подземные воды, заключенные в отложениях апт-альб-сеноманского возраста, высоконапорные, термальные. Пластовые давления и температуры постепенно возрастают с глубиной.

Гидрогеологический комплекс характеризуется упруговодонапорным режимом, за счет которого формируются эксплуатационные запасы воды.

Область питания и область разгрузки неокомского гидрогеологического комплекса удалены на огромные расстояния от изучаемых участков. С гидродинамической точки зрения площадь распространения комплекса в сравнении с площадью водозаборных участков, можно схематизировать как бесконечную в плане. Следовательно, данный комплекс можно рассматривать как изолированный сверху и снизу, однородный пласт.

По данным режимных наблюдений по водозабору эксплуатация неокомского комплекса осуществляется в условиях упругого неустановившегося режима фильтрации.

Прогноз положения динамического уровня сделан применительно к существующей схеме водозабора, состоящей из работающих водозаборных и наблюдательных скважин, эксплуатирующих два гидродинамически не связанных объекта ($АВ_{4-8}$ и $БВ_{0-7}$). Нагрузки на существующие скважины обоснованы опытом их эксплуатации, учитывая работу «соседних» водозаборов (табл. 3).

Рассмотренная гидрогеологическая модель пласта описывает изменения пластового давления с применением следующей расчетной схемы[3]:

- схема неограниченного в плане изолированного слоистого пласта с упругим режимом фильтрации (пласт напорный, однородный и бесконечный в плане);
- схема размещения водозаборных скважин — кустовая, рассредоточенная (расстояние между скважинами изменяется от 0,849 до 10,5 км);
- степень и способ вскрытия пласта — несовершенные;
- скважины находятся в условиях неустановившейся фильтрации.

В работающих скважинах понижение уровня определяется следующими факторами:

- понижением уровня от работы скважин водозабора с учетом их взаимодействия;
- срезками уровня от работы водозаборов и узлов закачки на близрасположенных месторождениях, эксплуатирующих неокомский комплекс;
- потерями напора в эксплуатационных скважинах за счет их несовершенства по степени и характеру вскрытия водоносного комплекса.

[3] Подсчет запасов подземных вод на лицензионном участке С: отчет о НИР/ исп. Саитов В.А. и др. — Тюмень, 2010.

19NZVN224
Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

Параметры пластов приведены в таблице 1.

Таблица 1 / Table 1

Фильтрационно-емкостные характеристики неокомских отложений

Reservoir properties of neocomian sediments

Параметр *Parameter*	Южная часть *Southern part*		Центральная часть *Central part*	Северная часть *Northern par*
	$АВ_{4-8}$	$БВ_{0-7}$	$БВ_0$-$БВ_6$	$АВ_{4-5}$-$БВ_{0-7}$
Эффективная толщина эксплуатационного объекта, м *Effective thickness of the operating facility, m*	59,4	114,1	100,9	171,5
Коэффициент песчанистости, % *Sandiness ratio, %*	47,1	50,6	51,5	45,8
Пористость, % *Porosity, %*	26,6	23,3	23,0	23,4
Проницаемость, мД *Permeability, mD*	479,1	304,7	310,2	334,8
Водопроводимость, $м^2$/сут *Water conductivity, m^2/day*	27,3	87,9	62,8	47,9
Пьезопроводность, $м^2$/сут *Piezo-conductivity, m^2/day*	$7,8\times10^5$	$6,0\times10^5$	$6,02\times10^5$	$6,26\times10^5$
Коэффициент фильтрации, м/сут *Filtration coefficient, m/day*	0,9	0,6	0,62	0,59
Минерализация, г/л *Salinity, g/l*	23,9	24,0	23,3	21,7

Источник/Source[3]

Изменение уровня в каждой водозаборной скважине (с учетом их взаимодействия) при постоянных дебитах вычисляется по формуле:

$$S_i = -\frac{1}{4\pi\, km}\sum_{j=1}^{N} Q_j Ei\left(-\frac{r_{ij}^2}{4at}\right),$$

где S_i — повышение уровня в i-той скважине, м; Q_j — дебит j-той скважины, $м^3$/сут; a — коэффициент пьезопроводности, $м^2$/сут; km — коэффициент водопроводимости, $м^2$/сут; t — время эксплуатации участка закачки, сут; r_{ij} — расстояние между i-той и j-той скважинами, м (при i = j параметр r_{ij} принимается равным радиусу скважины); N — количество скважин.

Следует отметить, что в трех скважинах динамические уровни изменяются от 750 до 994 м (табл. 2) при максимальном допустимом понижении динамического уровня 550 м. Рекомендуется данные скважины перевести в бездействующий фонд до стабилизации уровней в допустимых пределах, а планируемые отборы воды компенсировать за счет высокопродуктивных скважин.

Проведённые расчёты показали, что величина понижения уровня воды в водозаборных скважинах по объектам при необходимой добыче на конечный срок эксплуатации водозабора составит от 62 до 537 м, в пьезометрической скважине № 38379 — 58 м.

Для определения полной сработки уровней рассматриваемого водозабора, необходим учет срезок (отдельно на каждую из групп пластов $АВ_{4-8}$, $БВ_{0-7}$) в результате работы соседнего водозабора, на котором предполагается эксплуатация неокомского комплекса.

Результаты расчёта срезок приведены в таблице 3. Как видно на конец расчетного срока (2026 г.) величина срезки составит по пластам $АВ_{4-8}$ — 42 м; по пластам $БВ_{0-7}$ — 22 м.

19NZVN224
Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

Таблица 2 / Table 2

Понижения уровней в водозаборных скважинах на расчетный период

Decrease in levels in water intake wells for the calculation period

№ п/п *No.*	Среднесуточные отборы воды, $м^3$/сут *Average daily water withdrawals, m^3/day*		Понижения уровней в скважинах, м *Levels decrease in wells, m*		
	факт *fact*	прогноз *forecast*	факт *fact*	прогноз на 5 год *forecast for the 5th*	прогноз 10 год *forecast for the 10th year*
Пласты $АВ_{4-8}$ *Reservoirs AV_{4-8}*					
1	290	320	475	504	537
2	797	500	319	347	380
3	199	300	0	29	62
4	350	280	140	169	202
5	187	800	750	—	—
6	230	330	368	398	432
7	263	480	994	—	—
8	297	200	390	417	448
9	91	200	219	247	279
10	191	200	118	146	178
11	82	150	235	263	296
12	200	300	250	277	309
13	478	470	269	296	327
14	38	100	169	197	230
15	21	100	10	38	70
16	220	300	374	402	434
17	128	400	789	—	—
18	—	0	0	27	58
Пласты $БВ_{0-7}$ *Reservoirs BV_{0-7}*					
19	274	280	444	448	452
20	639	640	253	257	262
21	0	200	0	4	8
22	128	320	0	4	8
23	182	400	295	299	303
24	0	230	0	4	9
25	0	0	0	5	11
26	0	0	0	3	7
27	0	0	0	4	8

Источник/Source[3]

Таблица 3 / Table 3

Расчетные срезки уровней подземных вод в водозаборных скважинах при эксплуатации неокомского комплекса на соседнем водозаборе

Estimated level drawdowns of groundwater levels in water intake wells during the operation of the Neocomian complex at the adjacent water intake

Водозаборный участок *Water intake area*	Расстояние, м *Distance, m*	Срезка уровней по годам, м *Drawdown by years, m*		
		2015	2020	2026
Север, пласт $АВ_{4-8}$ *North, layer AV_{4-8}*	35 000	4	28	42
Север, пласт $БВ_{0-7}$ *North, layer BV_{0-7}*	35 000	2	14	22

Источник/Source[3]

19NZVN224
Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

Дополнительные понижения уровней в эксплуатационных скважинах, обусловленные потерями напора за счет несовершенства по степени и характеру вскрытия, определяются по формуле:

$$\Delta S = \frac{Q}{2\pi km}(\xi_1 + \xi_2),$$

где — ξ_1, ξ_2 безразмерные удельные сопротивления за счёт несовершенства по степени и характеру вскрытия.

При этом ξ_1 определяется по номограммам Н.Н. Веригина, а ξ_2 — по эмпирической формуле В.И. Щурова:

$$\xi_2 = \frac{425}{(l+1{,}5)Nd_0} - 0{,}6,$$

где l, d_0 — длина и диаметр канала отверстия (см); N — количество прострелов при перфорации на 1 погонный метр.

Основными параметрами для расчета ξ_1 по номограмме Н.Н. Веригина (табл. 4) являются величины: $m_в/m_{эф}$ ($m_в$ — вскрытая мощность, $m_{эф}$ — эффективная мощность) и $m_{эф}/r$ (r — радиус скважин).

Таблица 4 / Table 4

Значения параметра ξ_1 от переменных $m_в/m_{эф}$ и $m_{эф}/r^3$

The values of the parameter ξ_1 of the variables $m_в/m_{эф}$ and $m_{эф}/r^3$

$m_в/m_{эф}$	Поправки на несовершенство условий откачки ξ при $m_{эф}/r$ *Corrections for imperfection of pumping conditions ξ at $m_{эф}/r$*									
	0,5	1,0	3,0	10,0	30,0	100,0	200,0	500,0	1 000,0	2 000,0
0,05	4,23E-03	0,1350	2,30	12,6	35,5	71,9	94,0	126,0	149,0	169,0
0,1	3,91E-03	0,1220	2,04	10,4	24,4	42,8	53,8	68,5	79,6	90,9
0,3	2,97E-03	9,00E-02	1,29	4,79	9,20	14,50	17,70	21,80	24,90	28,20
0,5	1,65E-03	5,00E-02	0,656	2,260	4,210	6,500	7,860	9,640	11,000	12,400
0,7	5,46E-04	1,67E-02	0,237	0,879	1,690	2,670	3,240	4,000	4,580	5,190
0,9	4,80E-05	1,50E-03	0,0251	0,1280	0,3000	0,5280	0,6640	0,8460	0,9830	1,1200

Источник/Source[3]

Значения эффективной мощности по рассматриваемым объектам приняты по результатам обработки ГИС. Радиусы скважин приняты согласно их конструкции. Дополнительные потери напора (ΔS) рассчитаны при проектных дебитах скважин от 100 до 800 м^3/сут.

Практика эксплуатации водозаборных скважин показывает, что использование формулы В.И. Щурова и номограмм Н.Н. Веригина даёт удовлетворительное совпадение с фактическими потерями, и поэтому полученные результаты могут быть использованы для прогноза работы водозабора на месторождении.

Заключение

На водозаборе, созданном на одном из нефтегазовых месторождений Западной Сибири, рассмотрены гидрогеологические условия участка с сформировавшимися водоносными комплексами, используемыми как источник воды для системы поддержания пластового

19NZVN224
Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

давления в нефтяных пластах. Данное проектное сооружение позволяет решить проблему регулирования систем заводнения на разрабатываемых нефтяных объектах.

В геологическом разрезе месторождения выделены верхний и нижний гидрогеологические этажи с четко выраженной гидродинамической и гидрохимической зональностью. Верхний гидрогеологический этаж включает олигоцен-четвертичный водоносный комплекс, представленный толщей континентальных отложений различного генезиса. Основным источником хозяйственно-питьевого водоснабжения являются напорные воды повсеместно распространенных водоносных атлымского и новомихайловского горизонтов. Нижний гидрогеологический этаж заключает в себе высоконапорные минерализованные, термальные воды, находящиеся в условиях затрудненного водообмена, в состав которого входят апт-альб-сеноманский, неокомский, берриас-валанжинский и юрский водоносные комплексы. В районе месторождения наблюдается нормальная гидрохимическая зональность, закономерный рост минерализации вод с глубиной. Методы исследований, примененные к данному нефтегазовому месторождению, основаны на использовании известных методов анализа и математической статистики. Проведенный анализ показал высокую эффективность водозабора, а сформированная система ППД повлияла на увеличение добычи нефти и достижение утвержденного КИН (коэффициента извлечения нефти).

Таким образом, водозабор, созданный на месторождении, позволяет решить одну из основных проблем — это проблему регулирования систем заводнения на нефтяных объектах, что положительно сказывается на увеличении добычи нефти и достижении основных технико-экономических показателей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вагин С.Б. Выявление особенностей и основных закономерностей распределения гидрогеологических параметров отдельных водоносных комплексов территории Гыданского полуострова / С.Б. Вагин, М.А. Лобусев, Ю.А. Антипова // Территория Нефтегаз. — 2017. — № 10. — С. 32–36.
2. Вашурина М.В. Прогноз изменения гидрохимического облика пресных подземных вод в условиях интенсивного нефтяного освоения Западной Сибири / М.В. Вашурина, Ю.О. Русакова, А.Л. Храмцова // Академический журнал Западной Сибири. — 2017. — Т 13, № 4(71). — С. 6–9.
3. Вашурина М.В. Прогноз состояния пресных подземных вод в условиях интенсивного нефтяного освоения Западной Сибири / М.В. Вашурина, Ю.О. Русакова, А.Л. Храмцова // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. — 2018. — № 3. — С. 7–13.
4. Бешенцев В.А. Подземные воды мезозойского гидрогеологического бассейна, приуроченные к месторождениям нефти и газа Фроловской нефтегазоносной области Ямало-Ненецкого нефтегазодобывающего региона / В.А. Бешенцев, Н.К. Лазутин // Горные ведомости. — 2018. — № 1(155). — С. 68–74.
5. Toth J. Petroleum hydrogeology — a new basic in exploration // World oil. — 1987a. — Т 205, № 3. — С. 48–50.
6. Toth J. Petroleum hydrogeology — a potential application of groundwater science // Journal of the geological society of India. — 1987b. — Т 29, № 1. — С. 172–179.

19NZVN224
Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

7. Vugrinovich R. Relationships between regional hydrogeology and hydrocarbon occurrences in Michigsan, USA // Journal of petroleum geology. — 1988. — Т 11, № 4. — С. 429–442.
8. Patz H. Interrelations between oil geology and hydrogeology in connection with the investigation of hydrocarbon deposits / H. Patz, H. Jordan // Zeitschrift fur angewandte geologie [Журнал прикладной геологии] — 1980. — Т 26, № 1. — С. 6–9.
9. Hao H. Characteristics and hydrogeology potential of Mesozoic strata in eastern Pearl River Mouth basin, northern South China Sea / H. Hao, X. Zhang, H. You, R. Wang // Journal of Earth Science. — 2009. — Т 20, № 1. — С. 117–123.
10. Bachu S. Hydrogeology of formation waters, Northeasterm Alberta basin / S. Bachu, J.R. Underschultz // AAPG Bulletin. — 1993. — Т 77, № 10. — С. 1745–1768.
11. Cao Q. Pressure evolution and hydrocarbon migration-accumulation in the Moliqing fault depression, Yitong basin, Northeast China / Q. Cao, J. Ye, H. Qing, J. Lu, S. Huang, D. Tang // Journal of Earth Science. — 2011. — Т 22, № 3. — С. 351–362.
12. Ferguson A.G. Hydrogeology of the Winnipeg Formation in Manitoba, Canada / A.G. Ferguson, R.N. Betcher, S.E. Grasby // Hydrogeology journal. — 2007. — Т 15, № 3. — С. 573–587.

19NZVN224
Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

Mulyavin Semyon Fyodorovich
Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia
E-mail: muljavinsf@tyuiu.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4768-8511
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=389398

Steshenko Irina Georgievna
Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia
E-mail: steshenkoig@tyuiu.ru

Bazhenova Olga Alexandrovna
Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia
E-mail: bazhenovaoa@tyuiu.ru

Features of the hydrogeological complex of the Middle Ob

Abstract. In this work on the example of the Middle Priobya oil and gas field, administratively located in the Khanty-Mansi Autonomous Okrug-Yugra Tyumen region, where such fields are being developed as: Samotlor, Chernogorsk, Agan, Megion, Nizhnevartovsk, Soviet and many others, hydrogeological conditions of the license area with formed aquifer complexes used as a source of water for the reservoir pressure maintenance system in oil reservoirs. The water intake created at the field allows us to solve the problem of regulating waterflooding systems at the developed oil facilities.

The main aim — the identification of geological, hydrodynamic and technological criteria for the optimal selection of water from aquifers.

The objects of research are aquifers of the central part of the West Siberian artesian basin. In the geological section, the upper and lower hydrogeological floors are distinguished with clearly defined hydrodynamic and hydrochemical zonality. The regionally common stratum of turon-Eocene clayey rocks reliably isolates the freshwaters of the upper hydrogeological level from the mineralized thermal waters of the lower ones. The upper hydrogeological floor includes the Oligocene-Quaternary aquiferous complex, represented by a series of continental deposits of different genesis with a total capacity of about 200 m and more. Quaternary sediments groundwater is poorly protected from surface contamination. The main source of drinking and household water supply are pressure waters of pervasive aquifers of the Alymsky and Novomikhailovsky horizons. The lower hydrogeological stage contains high-pressure mineralized, thermal waters, which are in conditions of difficult water exchange, which include Apt-Alb-Cenomanian, Neocomian, Berrias-Valanginian and Jurassic aquifers, whose feeding areas are located on the marginal frames of the basin.

According to the general hydrogeological map of the territory of the Russian Federation, the area of work belongs to the Irtysh-Obsky artesian basin — a structure of order II. Normal hydrochemical zonality is observed in the area of the field, a regular increase in water salinity with depth.

Methods of researches are based on the use of well-known methods of analysis and mathematical statistics.

The authors conducted an analysis of the efficiency of water intake created at the field. It is shown that groundwater used for the purposes of maintaining reservoir pressure has a positive effect on the increase in oil production and the achievement of the approved oil recovery factor.

Keywords: field; aquifer complex; groundwater; water supply; reservoir-pressure maintenance system; water salinity; reservoir filtration parameters