

УДК 556.332.629

Проблемы организации хозяйственно-питьевого водоснабжения производственных объектов Ковыктинского газоконденсатного месторождения

Н.Г. Паршикова^{1*}, С.М. Петров¹, Н.И. Джахангирова¹

¹ ООО «Газпром ВНИИГАЗ», Российская Федерация, 142717, Московская обл., Ленинский р-н, с.п. Развилковское, пос. Развилка, Проектируемый пр-д № 5537, вл. 15, стр. 1

* E-mail: N_Parshikova@vniigaz.gazprom.ru

Ключевые слова:

Ковыктинское месторождение, хозяйственно-питьевое водоснабжение, оценка запасов подземных вод, водообильность горизонта, водообеспеченность стока.

Тезисы. Водоснабжение производственных объектов является важнейшей задачей при освоении и эффективной эксплуатации любого месторождения углеводородов. От правильного выбора источника водоснабжения, включая его расположение, зависит успешность организации системы водоснабжения в целом.

Подземные воды характеризуются большей защищенностью от воздействия внешних факторов (химическое, бактериальное загрязнение), поэтому наиболее целесообразна организация водоснабжения из подземных водоносных горизонтов. В 2013–2015 гг. лабораторией гидрогеологии ООО «Газпром ВНИИГАЗ» впервые выполнена оценка запасов подземных вод на семи участках недр в районе Ковыктинского месторождения с целью организации хозяйственно-питьевого водоснабжения соответствующих установок комплексной подготовки с заданным объемом водопотребления 90 м³/сут. Также проведен всесторонний анализ геолого-гидрогеологических условий верхней части разреза месторождения.

В статье рассматриваются два участка недр, находящиеся в разных гидрогеологических условиях формирования эксплуатационных ресурсов. На обоих участках скважинами вскрыт водоносный горизонт в верхней подсвите усть-кутской свиты ордовикских отложений. Полученные в результате опробования дебиты обеспечивали проектный объем водопотребления, что послужило основанием для рассмотрения этих скважин в качестве перспективных источников водоснабжения и выполнения работ по оценке запасов подземных вод.

В 2013 г. авторами проведены откачки в скважинах с целью проведения опытно-фильтрационных исследований, по результатам которых дебит скв. 21 уменьшился более чем втрое, а скв. 10X в три раза превысил первоначальное значение, что доказало зависимость водообильности вскрытых водоносных горизонтов от величины инфильтрационного питания, увязываемого с параметром водообеспеченности стока. Оценка запасов подземных вод, выполненная по участкам недр, не подтвердила перспективность участка скв. 21 в качестве источника хозяйственно-питьевого водоснабжения в объеме заявленного водопотребления.

Авторами предложены решения, которые при предварительном отборе скважин из имеющегося фонда позволят с высокой вероятностью относить эти скважины в разряд перспективных для дальнейшей оценки запасов. Сделанные авторами выводы в дальнейшем позволят более обоснованно выполнить постановку геологоразведочных работ по поиску источника хозяйственно-питьевого водоснабжения на Ковыктинском месторождении.

Водоснабжение производственных объектов является важнейшей задачей при освоении и эффективной эксплуатации любого месторождения. От правильного выбора источника водоснабжения и его расположения зависит организация системы водоснабжения в целом. Источником водообеспечения могут быть как поверхностные воды (реки, озера), так и подземные воды водоносных горизонтов, пригодные для определенного целевого использования. В отличие от поверхностных подземные воды характеризуются большей защищенностью от воздействия внешних факторов (химического, бактериального загрязнения). Поэтому наиболее целесообразно водоснабжение за счет подземных водоносных горизонтов.

В 2013–2015 гг. лабораторией гидрогеологии ООО «Газпром ВНИИГАЗ» выполнена оценка запасов подземных вод на семи участках недр с целью организации хозяйственно-питьевого водоснабжения соответствующих установок комплексной подготовки газа Ковыктинского месторождения [1]. Участки недр для постановки исследовательских работ определялись ООО «Газпром геологоразведка»

по результатам бурения водозаборных скважин, выполненного ранее с целью организации водоснабжения установок геологоразведочного бурения. Объектами исследований были определены семь гидрогеологических скважин, производительность которых, по данным первичных опробований, обеспечивала проектный объем водопотребления (от 90 до 180 м³/сут).

Гидрогеологическая изученность верхней части геологического разреза Ковыктинского месторождения считается слабой в связи с тем, что на данной территории мелкомасштабной гидрогеологической съемки не проводилось. Поэтому гидрогеологические условия могут быть приближенно оценены по значениям гидрогеологических параметров, полученным на ограниченных участках ранее проводимых работ. Современным отражением изученности подземных вод является Карта ресурсного потенциала подземных вод РФ [2], на которой показано районирование артезианских бассейнов по модулю прогнозных ресурсов ($M_{пр}$) подземных вод, т.е. по дебиту скважин, который может быть получен с 1 км² площади для различных водоносных комплексов. Для территории Ковыктинского месторождения $M_{пр}$ оценивается средним значением 2,1 л/(с·км²) (ордовикский и верхнекембрийский водоносные комплексы).

Важной составляющей подсчета запасов подземных вод является обоснование гидродинамической модели по каждому участку. С этой целью проведен всесторонний анализ геолого-гидрогеологических условий верхней части разреза Ковыктинского месторождения, а также гидрогеологической информации по представленным для оценки запасов скважинам.

Территория Ковыктинского ГКМ расположена в восточной части Лено-Ангарского плато относительной высотой 500–900 м и интенсивно расчленена притоками рек Лены и Киренги, формирующими рельеф в виде чередования горных хребтов и узких речных долин. Для целей водоснабжения представляет интерес надсолевой гидрогеологический этаж, который распространен в верхней части разреза до глубин 800–1000 м, дренируется речной сетью и является зоной активного водообмена. В нем выделяются три водоносных комплекса: четвертичных отложений, ордовикский и средне-верхнекембрийский (рис. 1). В терригенно-карбонатной толще надсолевого этажа водоносные горизонты представлены в основном

песчаниками, алевролитами, трещиноватыми известняками и доломитами; локальные водопоры – пачками аргиллитов, доломитов, гипса. Воды пресные, минерализацией до 0,8 г/л, гидрокарбонатного магниево-кальциевого состава, нейтральные и слабощелочные (рН до 7,9), невысокой температуры (до 9 °С). Они являются слабо- или безнапорными, относятся к пластовым и трещинно-карстовым инфильтрационным генезиса.

Водоносный комплекс четвертичных отложений (Q) представлен аллювиально-делювиальными отложениями мощностью от первых метров до нескольких десятков метров. Наиболее водообильны аллювиальные отложения. Дебиты родников в аллювиальных отложениях пойменных частей долин и низких террас весной достигают 20–23 л/с (1728–1987 м³/сут), в периоды межени не превышают 2 л/с (192 м³/сут). Для организации хозяйственно-питьевого водоснабжения водоносный комплекс четвертичных отложений неприменим в силу ограниченного распространения и слабой гидрохимической защищенности.

Ордовикский водоносный комплекс (O) охватывает в основном отложения усть-кутской свиты. В ней выделяют две подсвиты – верхнюю и нижнюю, в которых выявлены шесть водоносных пластов, приуроченных к сильно трещиноватым песчаникам, известнякам и доломитам. Толщины водоносных пластов составляют 1,5–35 м. Водоносные пласты вскрыты гидрогеологическими скважинами на глубинах от 30 до 200–245 м, в отдельных случаях – до 350 м. Статические уровни подземных вод устанавливаются в скважинах на глубинах от 20 до 140–158 м. Дебиты скважин при откачках составляют 24–130 м³/сут. На большей части территории водоносные пласты достаточно защищены от поверхностного загрязнения. Воды ордовикских отложений перспективны в качестве источника хозяйственно-питьевого водоснабжения для небольших объектов водопотребления.

Средне-верхнекембрийский водоносный комплекс (Є_{2,3}) включает илгинскую и верхоленскую свиты. В илгинской свите водоносные горизонты вскрыты гидрогеологическими скважинами на глубинах от 38–50 до 200 м. Дебиты составляют от 155 до 520–700 м³/сут, статические уровни устанавливаются на глубинах от 6–20 до 140–155 м. Есть единичные слабоизливающиеся источники в долинах рек.

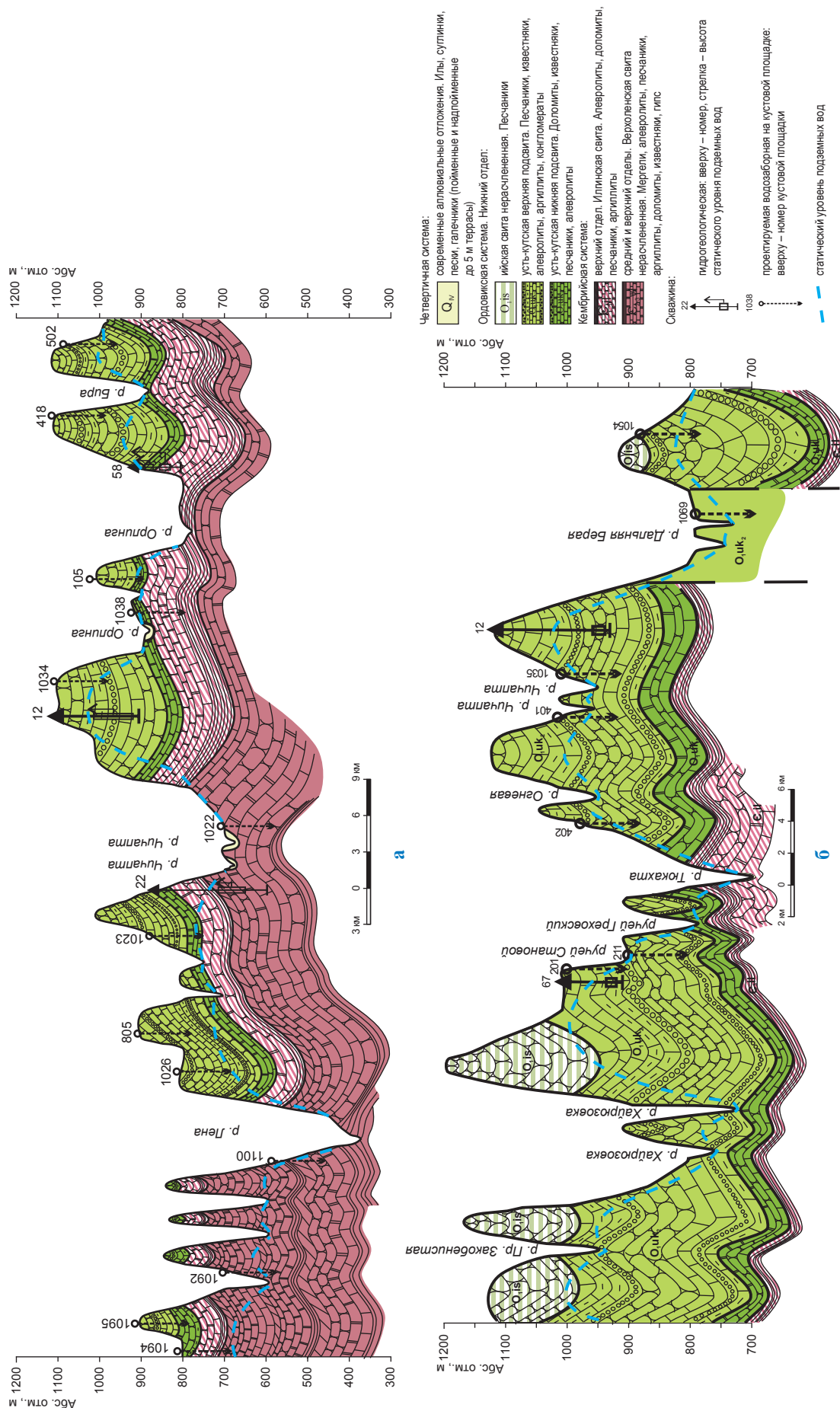


Рис. 1. Гидрогеологические разрезы верхней части Ковыктинского месторождения: а – широтный; б – центральный меридиональный

В верхоленской свите наиболее обводнена верхняя часть. Средняя и нижняя части свиты, сложенные плотными загипсованными мергелями и аргиллитами, являются относительным водоупором, разделяющим надсолевой и соленосный гидрогеологические этажи. Водоносными являются пласты мелко- и среднезернистых трещиновато-поровых песчаников и алевролитов, вскрытых на глубинах 20–1056 м. Толщины пластов лежат в диапазоне 10–21 м, дебиты скважин – 120–290 м³/сут. Статические уровни устанавливаются на глубинах от 25 до 380 м.

Водоносные горизонты илгинской и верхоленской свит перспективны с точки зрения обеспечения целевого водоснабжения. По физико-химическим свойствам воды надсолевого этажа могут использоваться для питьевого водоснабжения, хозяйственно-бытовых, технических и технологических целей. Залегающие ниже водоносные горизонты содержат воды от слабосоленых до рассолов и не пригодны для водоснабжения.

Гидрогеологические условия верхней части разреза месторождения в значительной степени определяются сложным геоморфологическим строением земной поверхности, характеризующимся глубоким эрозионным врезом и высокой эрозионной плотностью рельефа, что формирует глубокую дренированность территории и дробление основных водоносных комплексов на отдельные небольшие межречные массивы, площадь которых обычно не превышает 500 км².

В разрезе надсолевого гидрогеологического этажа выделяются зоны аэрации (неполного водонасыщения) и полного водонасыщения. *Зона аэрации* располагается выше статического уровня подземных вод и является транзитной зоной потока инфильтрационных вод по системе трещин в зону полного водонасыщения. Мощность зоны зависит от глубины расчленения рельефа и положений регионального и местного базисов дренирования речной сети. Зона аэрации включает отложения ийской свиты и верхней подсвиты усть-кутской свиты ордовика, а на части территории – отложения верхнего кембрия. В разрезе верхней подсвиты усть-кутской свиты ордовика наиболее развита система подвешенных водоносных горизонтов и линз, приуроченных к прослоям песчаников, трещиноватых известняков и доломитов повышенной водопроницаемости, залегающих

на слабопроницаемых отложениях (условных водоупорах). В подвешенных водоносных горизонтах локализуется поток инфильтрационных вод. Разгрузка этих горизонтов происходит на склонах в виде родников. Большинство мелких ручьев, имеющих постоянный сток, формируются в области выхода на поверхность подвешенных водоносных горизонтов.

В *зоне полного водонасыщения* происходит основное накопление инфильтрационных вод. Она включает нижнюю подсвиту усть-кутской свиты и илгинскую свиту и подстилается глинистыми отложениями верхоленской свиты, служащими региональным водоупором. Разгрузка водоносных горизонтов в зоне полного водонасыщения осуществляется в речную сеть. Водоносные горизонты в этих свитах в зоне полного водонасыщения достаточно водообильны и представляют интерес для хозяйственно-питьевого водоснабжения объектов с водопотреблением до 1000 м³/сут. По результатам гидрохимического опробования воды, они соответствуют санитарным нормам, предъявляемым к питьевой воде. Основным препятствием для использования этих водоносных горизонтов в целях хозяйственно-питьевого водоснабжения является их труднодоступность. Объекты водопотребления располагаются наверху водоразделов, поэтому глубокое залегание осложняет освоение водоносного горизонта, так как стандартное насосное оборудование рассчитано на подъем воды на 150 м, а для извлечения воды с глубины 200–400 м требуются высоконапорные насосы.

Запасы подземных вод – количество воды, которое может быть отобрано рациональными в технико-экономическом отношении водозаборами при заданном режиме эксплуатации и при необходимом качестве воды в течение расчетного срока водопотребления. Запасы определяются объемом подземных вод:

- поступающих в водоносный горизонт в естественных условиях путем инфильтрации атмосферных осадков, фильтрации из рек, перетекания из других горизонтов (ресурсы);
- заключенных в порах и трещинах водовмещающих пород (емкостные запасы);
- поступающих в водоносный пласт за счет усиления питания при эксплуатации водозаборного сооружения.

Сложность гидрогеологических условий верхней части разреза Ковыктинского месторождения состоит в их существенной

неоднородности на различных участках. Для каждого участка недр необходимо принимать отдельную расчетную схему. Схематизированные в виде геофильтрационной модели участки недр различаются между собой практически по всем параметрам: геоморфологическому положению, определяющему площадь питания и места разгрузки; вскрываемому скважиной водоносному горизонту и характеру его вскрытия. На пяти участках скважинами вскрыт водоносный горизонт в верхней подсвите усть-кутской свиты, на одном – водоносный горизонт в верхоленской свите и еще на одном вскрыты два горизонта – в нижней подсвите усть-кутской свиты ордовика и в илгинской свите верхнего кембрия.

Сравнительный анализ влияния геоморфологических и геологических факторов на запасы

подземных вод выполнен на примере двух участков недр, вскрытых скважинами 21 и 10X соответственно. На обоих участках скважинами вскрыт один водоносный горизонт в верхней усть-кутской подсвите, однако геоморфологические и геологические условия залегания горизонта на указанных участках отличаются (рис. 2).

Скв. 21 расположена в центральной части Ковыктинского месторождения на вершине условно плоского водораздела шириной около 9 км. Скважиной вскрыт подвешенный напорно-безнапорный водоносный горизонт в верхней усть-кутской подсвите (абсолютная отметка кровли горизонта 968 м). Наличие такого горизонта обосновывается тем, что по обоим склонам водораздельного пространства в достаточно узком интервале глубин 920–880 м отмечается разгрузка подземных вод

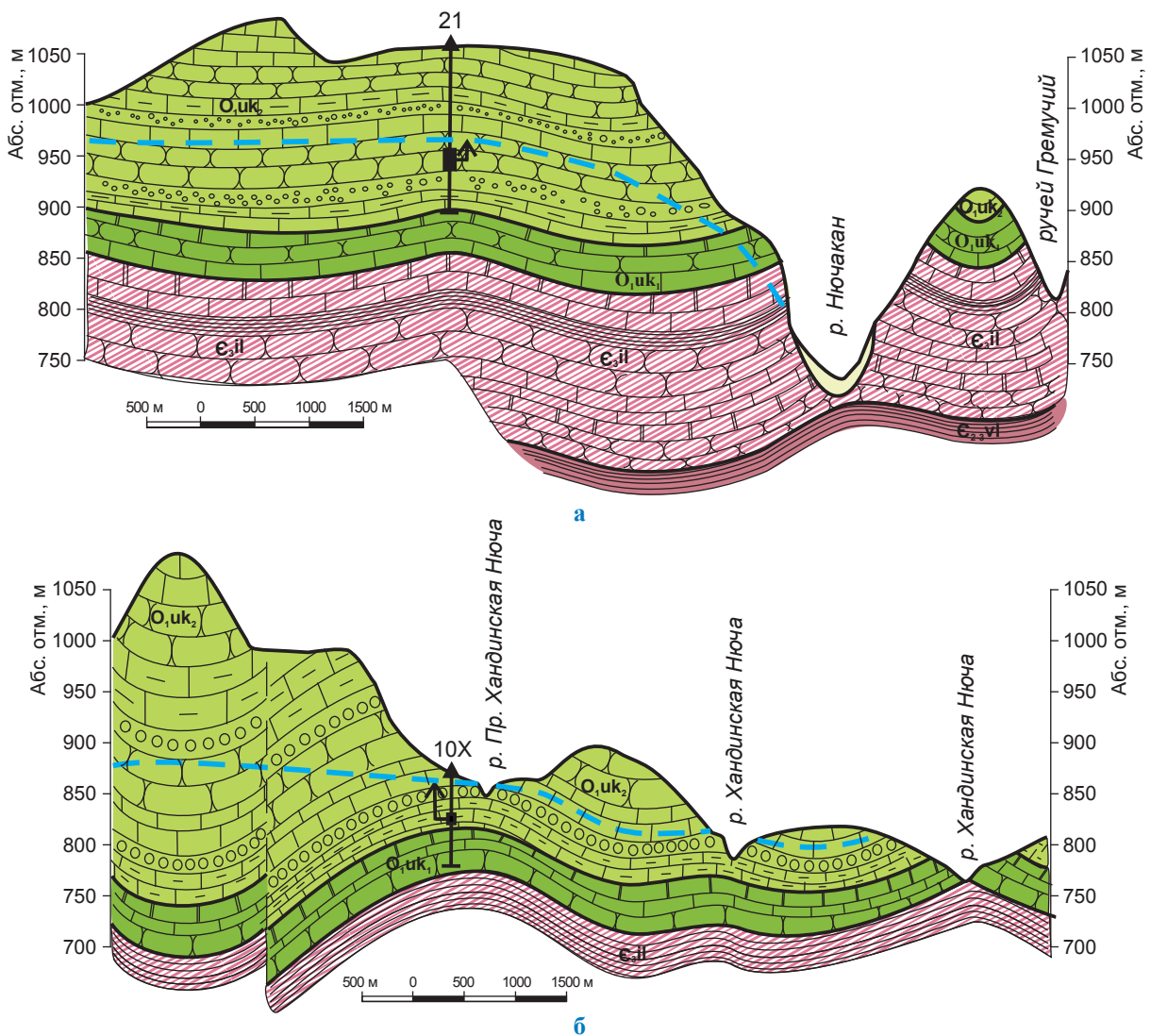


Рис. 2. Гидрогеологические разрезы участков недр: а – скв. 21; б – скв. 10X.

См. экспликацию на рис. 1

в виде родников, т.е. в границах участка имеется локальный водоупор. Уровень грунтовых вод фиксируется на глубине 86 м. Мощность горизонта – 12,5 м. Областью питания водоносного горизонта является центральная часть водораздельного пространства, предположительно ограниченная абсолютной отметкой 1000 м. Площадь области питания составляет около 11 км². Разгрузка подземных вод осуществляется ниже отметки 1000 м на склонах долин рек Нючакан и Тюкахта, где наблюдаются выходы родников, а также путем перетекания по зонам трещиноватости через локальный водоупорный пласт в нижезалегающие отложения илгинской свиты. Базисом дренирования водоносных горизонтов для участка недр служат русла рек Нючакан и Тюкахта (абсолютные отметки 730 и 663 м).

Скв. 10X расположена в северо-восточной части Ковыктинского месторождения в низком междуречье при слиянии рек Правая Хандинская Нюча и Левая Хандинская Нюча. Скважиной вскрыт тот же напорно-безнапорный водоносный горизонт в верхнеустькутских отложениях в зоне полного водонасыщения (абсолютная отметка кровли горизонта 830 м). Уровень подземных вод фиксируется на глубине 13 м, мощность горизонта – 10 м. Областью питания водоносного горизонта является центральная часть водораздельного пространства, предположительно ограниченная абсолютной отметкой 850 м. Площадь области питания – около 6 км². Разгрузка подземных вод осуществляется ниже отметки 860 м в руслах рек, которые являются для данного участка базисом дренирования подземного стока.

Для обоих участков необходимо обосновать возможность создания водозаборов с объемом водопотребления 90 м³/сут. Имеющиеся на участках недр гидрогеологические скважины на стадии бурения были опробованы откачками. Полученные в результате опробова-

ния дебиты (140 и 160 м³/сут) обеспечивали проектный объем водопотребления, что и послужило основанием для рассмотрения скважин в качестве перспективных источников водоснабжения и, соответственно, постановки работ по оценке запасов подземных вод.

В 2013 г. в скважинах проведены повторные опытно-фильтрационные исследования. При первичных опробованиях водоносного горизонта в обеих скважинах получены примерно одинаковые дебиты (таблица). По скв. 21 результаты исследований в 2013 г. не подтвердили ранее полученные данные: дебит скважины уменьшился более чем в три раза и составил 50 м³/сут; удельный дебит составил всего 1 м²/сут, что в 30 раз меньше, чем в 2010 г.

По скв. 10X в 2013 г. получен дебит воды 430 м³/сут, что в три раза больше первоначального значения. Поскольку информация о понижении уровня подземных вод, полученного при откачке из скважины в 2002 г., отсутствует, то сравнить фактические значения водообильности водоносного горизонта, полученные при опробовании скв. 10X в разные годы, невозможно.

Анализ результатов опробования скважин показывает, что водообильность вскрытого горизонта существенно изменяется во времени. Обе скважины расположены в пределах межречных водоносных горизонтов малой площади. Для водоносных горизонтов ограниченной площади распространения необходимо проводить оценку обеспеченности запасов (заданного объема водоотбора) ресурсами подземных вод методом расчета радиуса зоны формирования ресурсов, которая формируется в водоносном горизонте при заданном дебите водозабора и известном модуле прогнозных ресурсов подземных вод.

Оценка обеспеченности запасов подземных вод ресурсами осуществляется путем

Результаты опытно-фильтрационных исследований

Скважина	Дата исследования	Статический уровень, м	Дебит, м ³ /сут	Понижение, м	Удельный дебит, м ² /сут	Заданный объем водопотребления, м ³ /сут	Оценка запасов кат. С ₂ , м ³ /сут
21	01.03.2010	89	160	5,5	30	90	6
	20.11.2013	86	50	51,0	1		
10X	2002 г.	13	140	Нет данных	Нет данных	90	90
	12.11.2013		430	1,5	280		

расчета радиуса зоны формирования запасов с использованием формулы

$$R_{\phi} = \sqrt{\frac{Q_{\text{в}}}{\pi M_{\text{пр}}}},$$

где R_{ϕ} – радиус зоны формирования ресурсов, км; $Q_{\text{в}}$ – дебит одиночного водозабора, л/с. Для Ковыктинского месторождения $Q_{\text{в}} = 1,0$ л/с, $M_{\text{пр}} = 2,1$ л/(с·км²) (см. ранее).

Для обоих участков радиус зоны формирования ресурсов равен 0,4 км. Расчеты показали, что в границах участков недр проектируемые водоотборы из скв. 21 и 10X обеспечены ресурсами подземных вод, так как радиусы зон формирования ресурсов расположены в границах распространения вскрытых водоносных горизонтов и не достигают мест разгрузки. Для данных участков расчетная схема оценки запасов подземных вод принимается как для неограниченного пласта.

Оценка запасов для участка недр скв. 21 составила 6 м³/сут в перерасчете на заданный период водопотребления (100 лет), для участка скв. 10X – 90 м³/сут. Величина запасов, утвержденная по участку недр скв. 21, не обеспечивает проектного объема водопотребления, равного 90 м³/сут.

Анализ результатов выполненных работ по оценке запасов подземных вод на примере представленных скважин показывает, что выбор перспективных источников хозяйственно-питьевого водоснабжения из имеющегося фонда скважин требует более тщательной проработки паспортной документации скважин. На стадии выбора необходимо отбраковывать скважины, по которым отсутствуют достоверные результаты гидродинамических исследований, а при необходимости дополнительно выполнять анализ территориального и гипсометрического расположения таких скважин и оценку вскрываемого водоносного горизонта с целью перевода скважин в разряд перспективных для постановки геологоразведочных работ.

Одним из признаков высокой водообильности скважины при оценке ее территориального расположения является наличие вблизи скважины поверхностного водотока. Это обусловлено тем, что формирование речной сети происходит под влиянием тектонических процессов, т.е. русла рек трассируют тектонически ослабленные зоны в геологических отложениях. Вскрытие водоносного горизонта в зоне

тектонического нарушения позволит дренировать поток подземных вод с большей площадью, а также обеспечит дополнительное питание источника водоснабжения путем перехвата поверхностного стока.

Также на стадии выбора скважин из имеющегося фонда в качестве перспективных для организации хозяйственно-питьевого водоснабжения необходимо учитывать, в какой год с точки зрения обеспеченности по стоку (P) выполнялись гидродинамические исследования. Величина P показывает процентное отношение количества лет, в течение которых объем стока реки был не ниже расчетного, к количеству лет в расчетном периоде (расчетный период составляет 100 лет). С учетом обеспеченности по стоку год в многолетнем периоде бывает многоводным ($P = 5\%$), средним по водности ($P = 50\%$), среднезасушливым ($P = 75\%$) и острозасушливым ($P = 95\%$), т.е. гидродинамические исследования, выполненные в годы обеспеченности стока 5%, не подтвердятся исследованиями, выполненными в период, когда $P = 75\text{--}95\%$.

Результаты работ по оценке запасов подземных вод на примере изученных скважин позволяют сделать следующие выводы:

1) гидрогеологические условия надсолевого гидрогеологического этажа Ковыктинского месторождения достаточно сложные и существенно отличаются на различных участках месторождения;

2) показатели водообильности основных водоносных горизонтов района месторождения, вскрытых скважинами в разных гидрогеологических условиях, могут отличаться в несколько раз;

3) водообильность подземных вод надсолевого гидрогеологического этажа находится в прямой зависимости от объема инфильтрационного питания водоносных горизонтов, который коррелируется с параметром обеспеченности стока.

Сделанные выводы позволят в дальнейшем выполнить постановку геологоразведочных работ по поиску источника хозяйственно-питьевого водоснабжения целенаправленно на участках, предварительно оцененных с учетом перспективности изучения.

Список литературы

1. Петров С.М. Оценка запасов подземных вод по категории C_1 для организации хозяйственно-питьевого и технического водоснабжения Ковыктинской группы месторождений: отчет / С.М. Петров. – М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2014.
2. Карта ресурсного потенциала подземных вод РФ / Роснедра. – 1:5000000. – М.: ЗАО «ГидЭК», 2011.

Issues on arrangement of domestic water supply for industrial facilities at Kovykta gas-condensate field

N.G. Parshikova^{1*}, S.M. Petrov¹, N.I. Dzhakhangirova¹

¹ Gazprom VNIIGAZ LLC, Bld. 1, Est. 15, Proyektiruemyy proezd # 5537, Razvilka village, Leninskiy district, Moscow Region, 142717, Russian Federation

* E-mail: N_Parshikova@vniigaz.gazprom.ru

Abstract. Water supply of industrial facilities is quite important for development and efficient operation of any hydrocarbon field. Good choice of a water source including its location influences functioning of the whole water supply system.

Ground waters are better protected from external agents (namely, from chemical and bacteriological infection), so, arrangement of water supply from the underground water-bearing horizons is expedient. In 2013–2015, the Gazprom VNIIGAZ LLC Laboratory for Hydrogeology for the first time estimated the reserves of ground waters at seven subsoil sites nearby Kovykta field. It was made in order to arrange engineering and drinking water supply of the correspondent gas treatment facilities with pre-set water consumption of 90 m³ per day. Also the geological and hydrogeological conditions of the upper part of the field column were analyzed.

This paper studies two subsoil sites which useful groundwater resources have generated in different hydrogeological conditions. The wells at both sites have opened water-bearing horizons in the Ordovician upper Ust-Kut subsuite. Acquired well discharges provided designed amount of water consumption, and substantiated prospectivity of the named wells as promising water supply sources. Later water reserves were estimated.

In 2013, the wells were dried and tested. According to the test results discharge of the well no. 21 lowered more than thrice, and discharge of the well no. 10X thrice exceeded its previous value. This proved that capacity of the opened water-bearing horizons depended on a value of infiltration feeding, which was linked with drainage availability. Estimation of the underground water reserves did not verified the approved reserves of the well no. 21 and prospectivity of the correspondent site as a source of domestic water supply in the amount of said water consumption.

The authors suggested some solutions which, in case of preliminary selection of wells, would afford to attribute such wells as promising in regard of further reserve calculations. The made conclusions will help to substantiate geological prospecting of domestic water supply sources at Kovykta field.

Keywords: Kovykta field, domestic and drinking water supply, estimation of groundwater reserves, horizon water capacity, water drainage availability.

References

1. PETROV, S.M. *Estimation of groundwater reserves of C_1 category aimed at arrangement of domestic and engineering water supply at the fields of Kovykta group* [Otsenka zapasov podzemnykh vod po kategorii C_1 dlya organizatsii khozyaystvenno-pityevogo i tekhnicheskogo vodosnabzheniya Kovyktinskoy gruppy mestorozhdeniy]: sci. report. Moscow: Gazprom VNIIGAZ, 2014. (Russ.).
2. ROSNEDRA. *Map of Russian Federation groundwater resource potential* [Karta resursnogo potentsiala podzemnykh vod RF]. Scale: 1:5000000. Moscow: Gidek CJSC, 2011. (Russ.).