

УДК 556.8

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ЗАХОРОНЕНИЯ СТОЧНЫХ ВОД НА ТЕРРИТОРИИ СЕВЕРО-УРЕНГОЙСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЯМАЛО-НЕНЕЦКОГО НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩЕГО РЕГИОНА
HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS OF WASTEWATER DISPOSAL IN THE TERRITORY OF THE NORTH-URENGOYSKOYE GAS CONDENSATE FIELD OF THE YAMALO-NENETS OIL AND GAS PRODUCING REGION

Н. К. Лазутин, В. А. Бешенцев, О. Г. Бешенцева

N. K. Lazutin, V. A. Beshentsev, O. G. Beshentseva

Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

ООО «Недра-Консалт», г. Тюмень

Ключевые слова: сточные воды; промышленные воды; поглощающий горизонт; загрязнение
Key words: wastewater; industrial wastes; absorbing horizon; pollution

Апт-альб-сеноманский водоносный горизонт широко используется в качестве пласта-коллектора для сточных вод на севере Тюменской области.

Северо-Уренгойский полигон захоронения является одним из 57 в пределах Ямало-Ненецкого автономного округа [1], относится к Пур-Тазовской нефтегазодобывающей области.

Подземное захоронение стоков является вынужденной мерой [2]. Только лишь очищения промышленных отходов недостаточно. Их необходимо изолировать таким образом, чтобы исключалось неблагоприятное воздействие на экологическую обстановку. Для этого проводят ряд мероприятий, связанных с очисткой и закачкой вод в изолированные пласты-коллекторы.

Основные нормативные документы. Качество сточных вод, закачиваемых в пласт-коллектор, регламентируется нормативными документами СТО Газпром 18-2005¹, СТО Газпром 2-1.19-049-2006². Нормативные показания по этим документам приведены в таблице 1.

Таблица 1

Пороговые значения нормативных документов

Показатель	Единица	Пороговое содержание
Взвешенные частицы	мг/дм ³	150
Нефтепродукты		40
Окисное железо		3
Растворенный кислород		0,5
Набухаемость глин	–	Не выше, чем в пластовой воде
Реакция среды	рН	7–8
Снижение фильтрационной характеристики пласта из-за осадкообразователей (CaCO ₃ и/или CaSO ₄)	%	Не более 20

¹ СТО Газпром 18-2005. Гидрогеоэкологический контроль на специализированных полигонах размещения жидких отходов производства в газовой отрасли. – Введ. 2006-01-01. – М., 2005. – 72 с.

² СТО Газпром 2-1.19-049-2006. Подготовка сточных вод к закачке в поглощающий горизонт и экологический мониторинг при подземном захоронении сточных вод на нефтегазовых месторождениях ОАО «Газпром» севера Западной Сибири. – Введ. 2006-06-26. – М., 2006. – 54 с.

Однако данные документы не учитывают фильтрационно-емкостные характеристики, поэтому для взвешенных веществ и нефтепродуктов используют ОСТ 39-225-88³ (табл. 2).

Таблица 2

Пороговые значения нефти и механических примесей

Проницаемость пористой среды коллектора, мкм ²	Коэффициент относительной трещиноватости коллектора	Допустимое содержание в воде, мг/л	
		механических примесей	нефти
До 0,1 включительно	–	До 3	До 5
Свыше 0,1	–	До 5	До 10
До 0,35	От 6,5 до 2 включительно	До 15	До 15
Свыше 0,35	Менее 2	До 30	До 30
До 0,6 включительно	От 35 до 3,6 включительно	До 40	До 40
Свыше 0,6	Менее 3,6	До 50	До 50

Изученность территории. Апт-альб-сеноманский водоносный комплекс, используемый как пласт-коллектор для подземного захоронения промышленных вод, эксплуатируется и изучается не только на Северо-Уренгойском месторождении, но и на близлежащих (Ямбургское, Уренгойское, Заполярное).

Кровля эксплуатируемого водоносного комплекса находится на глубине 1 104–1 232 м.

Мощность покурской свиты, приуроченной к апт-альб-сеноманскому гидрогеологическому комплексу, находится в пределах 850–950 м. Она делится на под-свиты: нижнюю, среднюю и верхнюю.

Из-за того, что нижняя подсвита представлена глинистыми породами, бурить скважины для подземного захоронения стоков нецелесообразно, поэтому на Северо-Уренгойском месторождении данная толща не вскрыта.

Верхняя подсвита в основном состоит из серых песчаников. Зернистость их мелкая и средняя. Наблюдаются также алевролиты серые, глины серые опоковидные.

Выше апт-альб-сеноманского гидрогеологического комплекса залегает турон-палеогеновый, состоящий из глин в 750 м. Помимо этого, существует толща мнотелемерзлых пород с мощностью до 400 м.

По месторождению значения коэффициента пористости (K_p) меняются от 33,4 до 34,8, а коэффициента проницаемости ($K_{пр}$) — от 1 044 до 2 011.

Таким образом, апт-альб-сеноманский водоносный комплекс изолирован от нижележащих по разрезу отложений глинами аптского возраста и от вышележащего эоцен-олигоценного водоносного комплекса, что важно для недопущения перетока, так как эоцен-олигоценный водоносный комплекс имеет значение в хозяйственно-питьевом отношении [3].

Для участка ВЖК-1 22.06.2011 и в период с октября 2011 года по 18.05.2013 были проведены анализы пластовых вод, результаты которых показывают изменение химического состава воды за период от начала эксплуатации до середины мая 2013 года (табл. 3).

По проведенным геофизическим исследованиям скважин на участке ВЖК-1 коэффициенты пьезопроводности составляют $2,6 \cdot 10^5$ – $4,1 \cdot 10^5$ м²/сут. Водопроницаемость варьирует в значениях 17,2–30,7 м²/сут.

В скв.1-П проницаемость составляет 705,8 мД или примерно 0,7 мкм².

³ ОСТ 39-255-88. Вода для заводнения нефтяных пластов. Требования к качеству. – Введ. 1990-07-01. – 10 с.

Результаты отбора проб пластиковых вод на участке ВЖК-1

Показатель	Единица измерения	Дата отбора			
		22.06.2011	Октябрь 2011 – 18.05.2013		
		Значение			
Минерализация	г/л	22,36	13,7–6,7		
Гидрокарбонат-ионы	%-экв	1,38	0,29–7,01		
Карбонаты	мг/дм ³	6	6–24		
Сульфаты	%-экв	0,08	0,04–0,07		
Хлориды		98,4	92,87–99,58		
Нитраты	мг/дм ³	< 0,1	< 0,1		
Бромиды		35,2	14–52		
Йодиды		н/д*	2,5–25		
Фториды			< 0,1		
Кальций	% -экв	9,75	1,03–6,13		
Магний		2,58	0,57–4,58		
Натрий		86,68	90,23–96,55		
Калий		0,17	0,39–1,0		
Бор	мг/дм ³	5,6	0,88–6,2		
Аммоний	%-экв	0,82	0,2–2,12		
Общее железо	мг/дм ³	н/д*	24,8–50,7		
Агрессивная двуокись углерода			0,05–1,2		
Свободная двуокись углерода			0,05–21,8		
Сероводород			< 0,002		
Нефтепродукты			13,1–49,3		
Метанол			< 0,1–22 515,4		
Взвешенные вещества			58,2–578,4		
Растворенный в воде кислород			< 0,01–0,6		
ХПК			2 720–21 642		
БПК5			1 482,4–9 156		
СПАВ			0,65–10,6		
Реакция среды			рН	8,2	6,18–9,13
Тип вод по В. А. Сулину			Хлоридно-кальциевый	Хлоридно-кальциевый, гидрокарбонатно-натриевый	

Примечание. * н/д — нет данных.

С 24.06.2011 по 20.05.2013 на участке ГП-1 была проведена серия отбора проб, результат представлен в таблице 4.

Таблица 4

Результаты отбора проб пластиковых вод на участке ГП-1

Показатель	Единица измерения	Значение
Минерализация	г/л	12,34–19,94
Гидрокарбонат-ионы	%-экв	1,27–10,85
Карбонаты	мг/дм ³	< 6
Сульфаты	%-экв	0,03–0,14
Хлориды		88,99–98,58
Нитраты	мг/дм ³	< 0,1
Бромиды		11,0–50,24
Йодиды		3,6–15,8
Фториды		< 0,1

Показатель	Единица измерения	Значение	
Кальций	% - экв	3,56–9,94	
Магний		1,67–4,59	
Натрий		86,89–92,75	
Калий		0,17–0,79	
Бор	мг/дм ³	1,18–8,9	
Аммоний	% - экв	0,22–0,92	
Общее железо	мг/дм ³	25,4–75,0	
Агрессивная двуокись углерода		0,05–33,0	
Свободная двуокись углерода		0,05–153,7	
Сероводород		< 0,002	
Нефтепродукты		11,1–79,3	
Метанол		< 0,1–3 920	
Взвешенные вещества		108–1 000	
Растворенный в воде кислород		0,01–3,9	
ХПК		3 120–329 586	
БПК ₅		1 700,4–16 479,5	
СПАВ		0,64–15,6	
Реакция среды		рН	5,8–7,8
Тип вод по В. А. Сулину		Гидрокарбонатно-натриевый, хлормagneзиевый	

На участке ГП-1 коэффициенты водопроницаемости меняются от 55,4 до 102,5 м²/сут, а пьезопроводности — от 6,7·10⁻⁵ до 8,4·10⁻⁵ м²/сут.

В скв. 3-П проницаемость составляет 1 948,4 мД или примерно 1,9 мкм².

Условия захоронения. На месторождении оборудованы два полигона закачки: ВЖК-1 и ГП-1, введенные в эксплуатацию в августе 2011 и январе 2010 гг. соответственно. На каждом полигоне расположены вертикальные скважины, из них одна обязательно является поглощающей (скв. 1-П для ВЖК-1 и скв. 3-П для ГП-1), а другая — резервной-наблюдательной (скв. 2-П для ВЖК-1 и скв. 4-П для ГП-1). Скважины 1-П и 2-П были перфорированы на альбские, а скважины 3-П и 4-П — на альб-сеноманские толщии пород.

На участке ВЖК-1 объемы закачки на декабрь 2012 года составили 14,4 тыс. м³ (рис. 1).

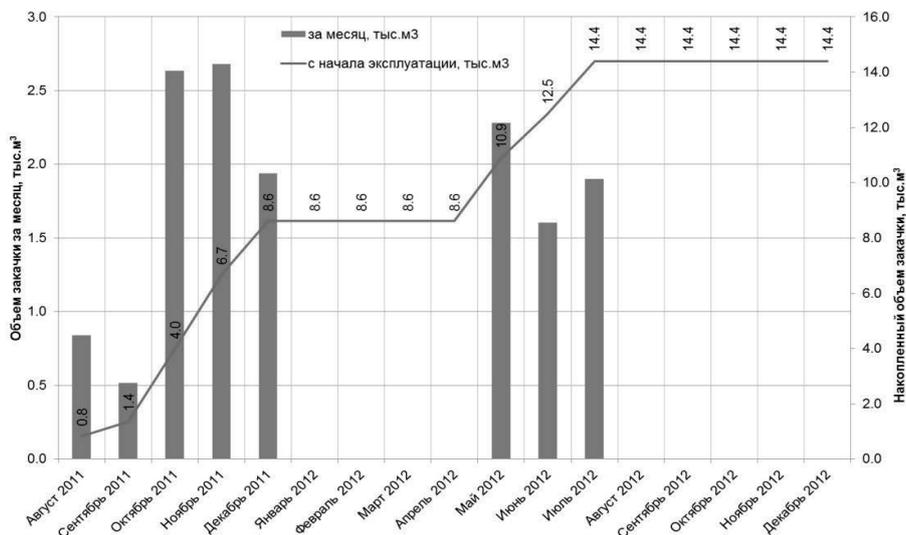


Рис. 1. График закачки сточных вод на Северо-Уренгойском месторождении за период эксплуатации 2011–2012 гг. на участке ВЖК-1 (скв. 1-П)

Захоронение вод не проводилось с января по апрель и с августа по декабрь того же года по причине капитального ремонта скважины. Ремонт был вызван тем, что изначально был перфорирован пласт альбского возраста, имеющий недостаточные приемистые свойства.

Воды на этом участке являются хозяйственно-бытовыми, так как образованы в результате деятельности обслуживающего персонала.

Перед закачкой в пласт воды очищаются и доводятся до нормативов. Их физическая характеристика и химический состав представлены в таблице 5 на основании данных 11 проб.

Таблица 5

Физическая и химическая характеристика закачиваемых вод на участке ВЖК-1 (скв. 1-П)

Показатель	Единица измерения	Значение
Запах	балл	5
Реакция среды	рН	7,45–7,8
Мутность	ЕМ/дм ³	6,15–10,09
СПАВ		0,05–0,18
Аммоний		10–18
Гидрокарбонат		110–130
Взвешенные вещества		10,2–22,8
Жесткость		1,9–2,5
Железо общее		0,34–3,16
Калий		0,8–1,17
Кальций		14–20
Магний		12–21
Сульфат	мг/дм ³	< 2
Растворенный кислород		0,19–0,72
Метанол		< 0,1
Нефтепродукты		0,01–0,15
Агрессивная двуокись углерода		6,5–11
Свободная двуокись углерода		12,1–18,1
Сухой остаток		236–278
Фосфор		0–0,002
Натрий		23–32
Хлорид		70–85
ХПК		1 200–15 100
БПК5		654–47 672,52
Удельный вес	г/см ³	1,001
Цветность	град.	15–20

В большинстве случаев отбора пробы воды не выходят за рамки необходимых значений.

С начала эксплуатации (январь 2010 года) по июль 2013 года общий объем закачки составил 163,7 тыс. м³ на участке ГП-1 (рис. 2).

Захороняемый флюид представляет собой добываемые с углеводородами пластовые воды.

Таблица 6 характеризует закачиваемую в пласт воду в физическом и химическом отношении. Было отобрано 25 проб.

Замечено превышение взвешенных веществ и нефтепродуктов по отношению к ОСТ 39-225-88⁴. Содержание нефтепродуктов выходило за рамки допустимых

⁴ ОСТ 39-225-88. – С. 6.

значений (50 мг/дм^3) только в пробе, отобранной в апреле 2013 года. Взвешенные же вещества в основном не дотягивают до порога норм даже после очистки. По всем остальным показателям в большей своей массе проб значения в пределах нормы, превышения единичны.

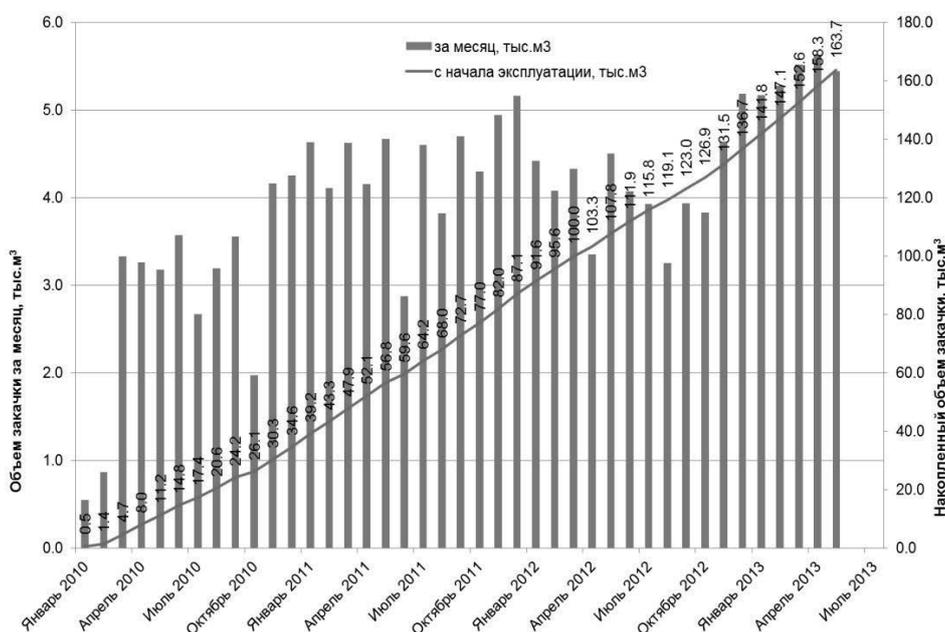


Рис. 2. График заправки сточных вод на Северо-Уренгойском месторождении за период эксплуатации 2010–2013 гг. на участке ГП-1 (скв. 3-П)

Таблица 6

Физическая и химическая характеристика закачиваемых вод на участке ГП-1 (скв. 3-П)

Показатель	Единица измерения	Значение
Запах	балл	5,5
Реакция среды	pH	7–8
Мутность	ЕМ/дм ³	20,72–154
СПАВ		0,045–7,940
Аммоний		2,87–12
Гидрокарбонат		1 293–1 684
Взвешенные вещества		37,6–128
Жесткость		1,1–4,5
Железо общее		1,05–22
Калий		20–80
Кальций	мг/дм ³	20–49
Магний		3,65–27
Кремний		12,8–21,6
Сульфат		1,12–13
Нитрат		< 0,1
Нитрит		< 0,02
Растворенный кислород		0,0–6,53
Метанол		7 200–756 720
Нефтепродукты		0,42–62,4

Показатель	Единица измерения	Значение
Агрессивная двуокись углерода	мг/дм ³	0–176
Свободная двуокись углерода		0–263
Сухой остаток		3 158–5 540
Фосфор		0–0,03
Натрий		1 179–2 030
Хлорид		1 064–2 305
ХПК		16 800–560 000
БПК ₅		2 800–30 5200
Удельный вес		г/см ³
Цветность	град.	10–70

Четыре опыта, проводимые с целью выявления совместимости пластовой и закачиваемой вод, показали, что они в различных концентрациях не образуют нерастворимых солей.

Предполагаемое воздействие закачиваемых промышленных сточных вод на гидрогеологические системы Северо-Уренгойского месторождения. Согласно документам ПАО «Газпром», ежегодно проводятся геофизические исследования скважин с целью отслеживания их технического состояния⁵.

При значениях пьезопродности, значения которых составляют $2,6-8,4 \cdot 10^5$ м²/сут в целом по месторождению, радиус влияния активной части депрессионной воронки не должен превышать 50 км [4].

Чтобы оценить масштаб растекания захороняемых стоков в пласте, необходимо выявить конфигурацию зоны распространения. Для этого определяются радиусы распространения вод вверх (r) и вниз (R) по потоку, а также радиус ширины растекания (d). Данные параметры находятся по методическим рекомендациям, которые подразумевают нахождение размеров зон санитарной охраны [5] и гидравлического уклона нарушенного потока подземных вод [6]. Результаты на весь период эксплуатации, полученные таким образом, следующие:

- для участка ВЖК-1: r = 130 м, R = 1 615 м, d = 308 м. Площадь распространения — 800 043 м²;
- для участка ГП-1: r = 410 м, R = 1 292 м, d = 709 м. Площадь распространения — 836 171 м².

Таким образом, превышение норм качества промышленных стоков, отраженных в нормативных документах и на которые следует обратить внимание, наблюдается по взвешенным веществам, является устранимым, если проводить дополнительные специальные очистные мероприятия. Это позволяет характеризовать воду как в целом пригодную для закачки в недра.

Пласт-коллектор надежно изолирован от выше- и нижележащих толщ глинистыми отложениями, что препятствует распространению вод в непредусмотренные для этого горизонты.

Лабораторные исследования показали совместимость закачиваемых и пластовых вод, что указывает на то, что фильтрационные свойства пласта-коллектора вследствие кольматации нарушены не будут.

Библиографический список

1. Бешенцев В. А., Семенова Т. В. Подземные воды севера Западной Сибири (в пределах Ямало-Ненецкого нефтегазодобывающего региона). – Тюмень: ТюмГНГУ, 2015. – 224 с.
2. Гольдберг В. М., Скворцов Н. П., Лукьянчикова Л. Г. Подземное захоронение промышленных сточных вод. – М.: Недра, 1994. – 282 с.
3. Бешенцев В. А., Лазутин Н. К. Подземные воды мезозойского гидрогеологического бассейна, приуроченные к месторождениям нефти и газа Пур-Тазовской НГО Ямало-Ненецкого нефтегазоносного региона // Горные ведомости. – 2017. – № 3. – С. 32–41.

⁵ СТО Газпром 18-2005. – С. 48.

4. Биндеман Н. Е. Оценка эксплуатационных запасов подземных вод. – Л.: Госгеолтехиздат, 1963.
5. Орадовская А. Е., Лапшин Н. Н. Санитарная охрана водозаборов подземных вод. – М.: Недра, 1987. – 167 с.
6. Методические рекомендации по обоснованию выбора поглощающих горизонтов и проектированию закачки сточных вод на газовых предприятиях Западной Сибири. ВРД. – Тюмень: ТюменьНИИГипрогаз, 2001. – 83 с.

Сведения об авторах

Лазутин Николай Константинович, аспирант, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, тел. 89129913086, e-mail: kpw@yandex.ru

Бешентцев Владимир Анатольевич, д. г.-м. н., профессор кафедры геологии месторождений нефти и газа, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, тел. 89123958903, e-mail: v-a-beshentsev@ya.ru

Бешентцева Ольга Григорьевна, к. г.-м. н., старший гидрогеолог, ООО «Недра-Консалт», г. Тюмень, тел. 89123958904, e-mail: v-a-beshentsev@ya.ru

Information about the authors

Lazutin N. K., Postgraduate, Industrial University of Tyumen, phone: 89129913086, e-mail: kpw@yandex.ru

Beshentsev V. A., Doctor of Geology and Mineralogy, Professor at the Department of Geology of Oil and Gas Fields, Industrial University of Tyumen, phone: 89123958903, e-mail: v-a-beshentsev@ya.ru

Beshentseva O. G., Candidate of Geology and Mineralogy, Senior Hydrogeologist, LLC «Nedra-Consult», Tyumen, phone: 89123958904, e-mail: v-a-beshentsev@ya.ru

УДК 552.5:550.8.05

ХАРАКТЕРИСТИКА МИНЕРАЛЬНО-ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА ПОРОД БАЖЕНОВСКОГО ГОРИЗОНТА В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ЗАПАДНО-СИБИРСКОГО НЕФТЕГАЗОНОСНОГО БАСЕЙНА
CHARACTERISTIC OF MINERAL AND MATTER COMPOSITION OF BAZHEN ROCKS FROM THE CENTRAL PORTION OF THE WEST SIBERIAN BASIN

Е. Е. Оксенойд

E. E. Oksenojd

Научно-аналитический центр рационального недропользования им. В. И. Шпильмана, г. Тюмень

Ключевые слова: баженовская свита; минерально-вещественный состав; классы пород; глинистые минералы; Западная Сибирь

Key words: Bazhenov formation; mineral and matter composition; rock classes; clay minerals; Western Siberia

Определение минерально-вещественного состава имеет важное практическое значение для подсчета запасов [1] и моделирования технологии извлечения углеводородов из баженовских отложений. Баженовский горизонт (БГ) принимается в объеме верхов нижневолжского (верхняя юра) — низов нижеберриасского (нижний мел) подъярусов. Прослеживается в южных, центральных и северных районах Западной Сибири на площади около 2 млн км². На большей части территории своего развития горизонт сложен битуминозными углеродистыми отложениями, представленными и сменяющимися друг друга в направлении с запада на восток согласно [2], нижней частью мулымьинской свиты, нижней частью тутлеймской свиты и баженовской свитой (БС).

В Научно-аналитическом центре рационального недропользования им. В. И. Шпильмана изучение баженовских отложений активно ведется с 2012 года. Проведено много исследований, накоплен значительный объем данных по литологии, геохимии и нефтеносности. В данной работе нами представлены результаты расчета и анализа минерально-вещественного состава пород преимущественно баженовской и тутлеймской свит БГ. Существенной особенностью предлагаемых вниманию материалов является то, что область исследований не ограничена рамками одного месторождения или района, а охватывает почти всю территорию развития высокоуглеродистых пород баженовского горизонта в границах ХМАО — Югры.

Методика определения минерально-вещественного состава баженовских пород. Анализировалась выборка из более 3 000 образцов по 200 скважинам (рис. 1). По территории скважины распределены неравномерно, большая часть