

УДК 556.8

**ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ЗАХОРОНЕНИЯ  
СТОЧНЫХ ВОД НА ТЕРРИТОРИИ БЕРЕГОВОГО  
НЕФТЕГАЗОКОНДЕНСАТНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ  
ЯМАЛО-НЕНЕЦКОГО НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩЕГО РЕГИОНА**  
HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS OF WASTEWATER BURIAL IN THE  
TERRITORY OF THE BEREGOVOYE OIL AND GAS CONDENSATE FIELD  
OF THE YAMALO-NENETS OIL AND GAS PRODUCING REGION

**Н. К. Лазутин, В. А. Бешенцев, А. А. Гудкова**  
N. K. Lazutin, V. A. Beshentsev, A. A. Gudkova

*Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень*

*Ключевые слова: сточные воды; поглощающий горизонт; загрязнение;  
обезвреживание; захоронение*  
*Key words: wastewater; absorbing horizon; pollution; treatment; burial*

Захоронение сточных вод в глубокие водоносные горизонты не решает полностью проблему загрязнения окружающей среды. У этого способа утилизации отходов нефтегазовой отрасли помимо сторонников есть и противники. Однако этот метод является одним из самых эффективных, так как вредные вещества убираются с поверхности земли, где они непосредственно воздействуют на человека, в глубокозалегающие участки недр, откуда такое воздействие исключается. При этом они не воздействуют на поверхностные воды, почву и атмосферу. Но в то же время возникает опасность загрязнения пресных подземных вод, используемых для питья, а также других полезных ископаемых. Еще одним недостатком является ограниченность объема сточных вод, которые возможно закачивать в недра. Таким способом могут удаляться лишь сравнительно небольшие количества загрязненных и токсичных отходов. Поэтому, по мнению ряда специалистов (В. М. Гольдбергер, Н. П. Скворцова, Л. Г. Лукьянчикова — 1994 год), подземное захоронение стоков — это не радикальный способ удаления, а вынужденная мера ограниченного применения по отношению к неочищенным, сильнозагрязненным и токсичным стокам [1].

*Краткая история подземного захоронения в Тюменской области.* На севере Тюменской области подземное захоронение промышленных сточных вод применяется часто. Оно является самостоятельной отраслью при разработке газовых месторождений и составной частью технологического процесса при добыче нефти [2]. Рассматриваемый полигон захоронения входит в состав 57 полигонов захоронения, расположенных на территории Ямало-Ненецкого автономного округа. Основным объектом освоения являются газовые залежи, залегающие на глубине 850–1 300 м в массивном резервуаре песчаных отложений сеномана. Ниже расположены песчаные отложения сеноманского, альбского возрастов, куда и производится подземное захоронение стоков на глубину 990–1 600 м (чаще 1 100–1 400 м) [3].

Береговое нефтегазоконденсатное месторождение располагается на территории Пуровского района Ямало-Ненецкого автономного округа. Месторождение относится к Тазовскому нефтегазоносному району Пур-Тазовской нефтегазоносной области Ямало-Ненецкого нефтегазодобывающего региона. Полигон захоронения включает в себя две специально оборудованные поглощающие скважины П-1 и П-2, пробуренные в 2008 году и расположенные на расстоянии 63 м друг от друга. Захоронение сточных вод ведется с 2011 года с дебитом от 63,3 до 101,52 м<sup>3</sup>/сутки. По состоянию на 1 января 2014 года в сеноманский поглощающий горизонт было закачено 63,5 тыс. м<sup>3</sup> стоков (рис. 1).

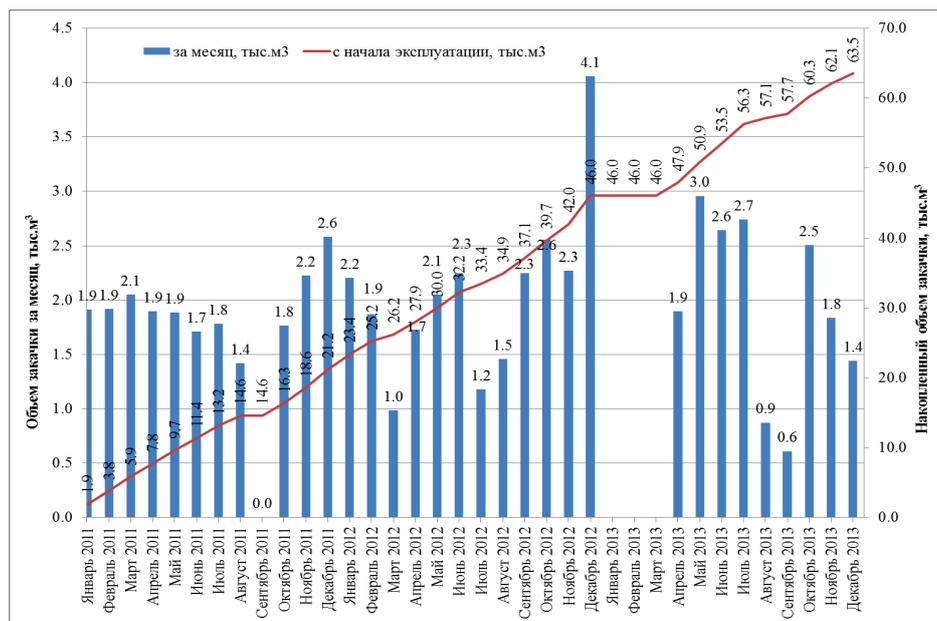


Рис. 1. График заправки сточных вод на Береговом нефтегазоконденсатном месторождении за период эксплуатации 2011–2013 гг.

*Правовые основы захоронения сточных вод.* Процесс закачивания сточных вод строго регламентируется различными нормативными документами. В «Положении об охране подземных вод» (1984) прописано, что захоронение может осуществляться в глубокие водоносные горизонты без пресных, бальнеологических, минеральных, термальных и промышленных вод, которые используются или намечаются к использованию, и при этом горизонты должны быть надежно изолированными [4]. Гидрогеологические исследования показали, что сеноманский водоносный горизонт на Береговом месторождении является подходящим под эти условия, так как соответствует критериям отбора, указанным в методических указаниях [5, 6].

Правовые аспекты подземного захоронения изложены в «Положении об охране подземных вод» (1984), в законах РФ «Об охране окружающей природной среды» (1991), «О недрах» (1992, 1995), «О плате за пользование водными объектами» (1998), в «Положении о порядке лицензирования пользования недрами» (1992), «Положении о системе управления природопользованием в ОАО «Газпром» (1999).

Для газовой отрасли ПАО «Газпром» подготовлено и издано методическое руководство «Гидрогеологический контроль на полигонах заправки промышленных сточных вод» (РД 51-31323949-48-2000). Методическое руководство согласовано с Министерством топлива и энергетики РФ, Министерством природных ресурсов РФ, Госгортехнадзором РФ, утверждено заместителем председателя правления ПАО «Газпром» В. В. Ремизовым [7].

*Условия захоронения.* Эксплуатируемым пластом-коллектором на территории Берегового месторождения для нужд захоронения стоков является сеноманский водоносный горизонт апт-альб-сеноманского гидрогеологического комплекса, представленный песчаниками и алевролитами с прослоями глин. Горизонт, используемый в качестве поглощающего, залегает на глубинах от 1 290 до 1 350 м и имеет мощность от 189 до 202 м [8]. Его нижняя часть глинисто-алевритистая, верхняя характеризуется светло- и темно-серыми песчаниками. Подошвой объекта являются отложения альбского яруса.

По отношению к газовой залежи поглощающий горизонт включает в себя подошвенные и законтурные воды. Пласт-коллектор надежно изолирован со стороны кровли турон-палеогеновыми глинистыми породами мощностью более 650 м и толщиной многолетнемерзлых пород, что предотвращает возможность перетока закачиваемых вод, а следовательно, и загрязнения эоцен-олигоценного водоносного комплекса, расположенного выше по разрезу. Это крайне важно, так как эоцен-олигоценный водоносный комплекс имеет значение в хозяйственно-питьевом отношении [8].

Исследуемый горизонт обладает высокой водообильностью, обусловленной хорошими коллекторскими свойствами отложений. Средние дебиты скважин варьируют в пределах от 0,9 до 374,3 м<sup>3</sup>/сутки до при  $H_{\text{ср. дин.}} = 1\ 260\text{--}2\ 040$  м (табл. 1).

Таблица 1

*Водообильность апт-альб-сеноманского гидрогеологического комплекса [8]*

Номер скважины	Интервал опробования	Пласт, свита	Дебит (средний) м <sup>3</sup> /сутки	H <sub>д</sub> (среднее), м
26	1 632–1 637	ПК <sub>12</sub> <sup>1</sup>	167,8	–
	1 779–1 777	ПК <sub>15</sub> <sup>1</sup>	1,9	1 760
	2 005–2 014	ПК <sub>19</sub> <sup>1</sup>	8,64	2 000
29	1 657–1 660	ПК <sub>12</sub> <sup>2</sup>	0,9	1 650
	1 677–1 681	ПК <sub>13</sub> <sup>1</sup>	3,4	1 677
	1 894–1 902	ПК <sub>17</sub> <sup>1</sup>	374,3	1 894
30	1 599–1 592	ПК <sub>11</sub>	16,2	1 570
	1 860–1 865	ПК <sub>16</sub> <sup>3</sup>	7,6	1 860
31	1 724–1 726	ПК <sub>14</sub>	46,8	1 700
	1 821–1 834	ПК <sub>16</sub> <sup>1</sup>	98,9	1 800
	2 029–2 024	ПК <sub>19</sub> <sup>2</sup>	51,6	2 000
32	1 263–1 267	ПК <sub>1</sub>	155,6	1 260
	2 028–2 051	ПК <sub>20</sub>	149,1	2 040
40	1 808–1 810	ПК <sub>15</sub> <sup>2</sup>	34,3	1 809
	1 993–1 996	ПК <sub>18</sub>	40,6	1 900
41	1 954–1 956	ПК <sub>17</sub> <sup>2</sup>	30,4	1 950
43	1 535–1 540	ПК <sub>8</sub>	93,0	1 520

Пластовые воды комплекса относятся преимущественно к хлоркальциевому типу с минерализацией 14,3–22,8 г/л (табл. 2).

Содержание основных солеобразующих компонентов в пластовых водах изучаемого района следующее: Na<sup>+</sup> — 680–8 000 мг/дм<sup>3</sup>; K<sup>+</sup> — 8–110 мг/дм<sup>3</sup>; Ca<sup>2+</sup> — 32–1 319 мг/дм<sup>3</sup>; Mg<sup>2+</sup> — 12–804 мг/дм<sup>3</sup>; Cl<sup>–</sup> — 993–15 027 мг/дм<sup>3</sup>; HCO<sub>3</sub><sup>–</sup> — 37–976 мг/дм<sup>3</sup>; SO<sub>4</sub><sup>2–</sup> — 0–25 мг/дм<sup>3</sup>; CO<sub>3</sub><sup>2–</sup> — 0–54 мг/дм<sup>3</sup>. Микрокомпонентный состав вод: I — 1,12–17,44 мг/дм<sup>3</sup>; Br — 1,29–70,22 мг/дм<sup>3</sup>; B — 0,43–56,43 мг/дм<sup>3</sup>; F — 0–2,6 мг/дм<sup>3</sup>; Si — 4–22 мг/дм<sup>3</sup> [8]. Нафтенческие кислоты содержатся в количестве не более 1,04 мг/дм<sup>3</sup>. Плотность воды 1,001–1,016 г/см<sup>3</sup> (см. табл. 2).

Газонасыщенность составляет 2,8 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>. Водорастворенный газ состоит из 88,05–98,63 % метана, не более 6,30 % этана, не более 0,20 % пропана и не более 1,24 % остальных твердых углеродсодержащих веществ. Гелий и аргон находятся в количестве 0–0,027 и 0,003–0,035 % соответственно.

Химический состав закачиваемых вод хлоркальциевый. Они маломинерализованные, с минерализацией обычно до 1 г/дм<sup>3</sup> и плотностью около 1 г/см<sup>3</sup>. Массовая концентрация взвешенных частиц не превышает 150 мг/дм<sup>3</sup>; железа менее 1 мг/дм<sup>3</sup>; йода от 1,72 до 17,44 мг/дм<sup>3</sup>; брома от 1,29 до 70,22 мг/дм<sup>3</sup>; бора

от 0,43 до 56,43 мг/дм<sup>3</sup>; содержание нефтепродуктов доходит до 156 мг/дм<sup>3</sup>, но чаще оно менее 1 мг/дм<sup>3</sup>. Характерный состав стоков, сбрасываемых на Береговом нефтегазоконденсатном месторождении, представлен в таблице 3.

Таблица 2

*Гидрогеохимическая характеристика пластовых вод апт-альб-сеноманского гидрогеологического комплекса [8]*

Единица измерения	Показатель	Поглощающий горизонт
г/л	Минерализация	14,3–22,8
мг/дм <sup>3</sup>	Na <sup>+</sup>	680–8 000
	K <sup>+</sup>	8–110
	Ca <sup>2+</sup>	32–1 319
	Mg <sup>2+</sup>	12–804
	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,1–80
	Cl <sup>-</sup>	993–15 027
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	37–976
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0–25
	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	0–54
	I	1,72–17,44
	Br	1,29–70,22
	B	0,43–56,43
	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0–0,04
	F	0–2,6
	Sr	13,52–438,4
SiO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	4,22	
	Нафтенновые кислоты	0–1,04
ед.	pH	5,8–8,69
г/см <sup>3</sup>	Плотность	1,001–1,016
Тип воды по В. А. Сулину		Хлоркальциевый

Таблица 3

*Усредненный химический состав очищенных стоков, сбрасываемых в поглощающий горизонт [8]*

Содержание компонентов	Показатель, мг/дм <sup>3</sup>
Водородный показатель pH (ед.)	6,3–8,23
Сухой остаток	262–581
Нефтепродукты	0,0005–156
Взвешенные вещества	3–132
Прозрачность (см)	1,5–41,5
Плотность (г/дм <sup>3</sup> )	–
Температура (°C)	12,4–27,8
Гидрокарбонат-ион	–
Железо общее	0,07–1
Калий	–
Натрий	–
Кальций	–
Магний	–
Сульфат-ион	10–25

Содержание компонентов	Показатель, мг/дм <sup>3</sup>
Хлорид-ион	10–22
Кислород растворенный	0,5–7,9
Нитрат-ион	0,83–47,47
Аммоний	0,15–42,51
Фосфат	0,54–7,43
АПAB	0,015–0,76
ББК	3–86

Примечание. В таблице приведены средние значения компонентов за период эксплуатации.

Таким образом, современный состав сточных вод (а это промышленные стоки, разбавленные хозяйственно-бытовыми), закачиваемых в поглощающий горизонт на Береговом месторождении, характеризуется общей минерализацией (сухим остатком) от 262 до 581 мг/дм<sup>3</sup>, активной реакцией среды от слабокислой до слабощелочной (значение водородного показателя  $pH$  варьирует в пределах от 6,3 до 8,23) (см. табл. 3). По химическому составу стоки хлоркальциевые.

Перед закачкой воды в водоносный горизонт необходимо провести предварительное отстаивание, фильтрационное удаление твердых взвешенных частиц и взвеси, а также удаление плавающих нефтепродуктов, производящееся на нефтеловушках (рис. 2).

При захоронении сточных вод необходимо убедиться в их совместимости с водами, которые уже содержатся в гидрогеологическом комплексе, во избежание ухудшения фильтрационных свойств пласта. Эксплуатация данного полигона захоронения указывает на то, что данные воды совместимы, а следовательно, негативного влияния на фильтрационные свойства пласта нет.

Лабораторные исследования (эксперименты), проведенные авторами на основе полученных материалов по ряду месторождений [9], показывают, что при смешении сточных вод с пластовой водой осадков не наблюдается, что подтверждается многолетним опытом эксплуатации месторождений в пределах Ямало-Ненецкого нефтегазодобывающего региона [3, 7, 8].

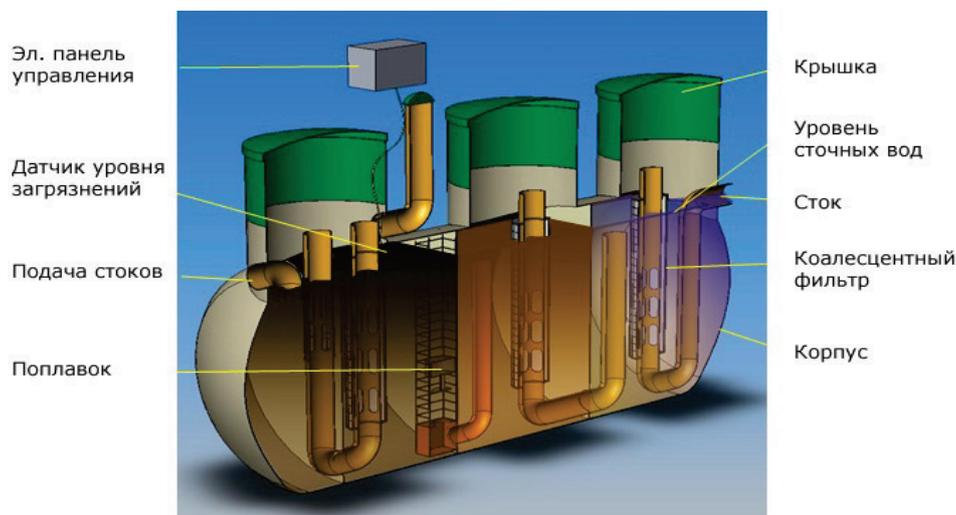


Рис. 2. Нефтеловушка

*Предполагаемое воздействие закачиваемых промышленных сточных вод на гидрогеологические системы Берегового месторождения.* Гидродинамические системы рассматриваемого месторождения подвержены изменению таких полей, как геотермическое, геостатическое и гидродинамическое. Также следует обратить внимание на возможность их локального загрязнения.

Избежать загрязнения подземных вод апт-альб-сеноманского гидрогеологического комплекса не удастся. Расчеты показывают, что прогнозный радиус распространения сточных вод достигнет 1 827 м, но они не окажут отрицательного воздействия как на разработку газовых залежей, так и на использование вод в лечебных целях, так как не будут входить в зону формирования пресных подземных вод существующего водозабора питьевых вод. Ближайший водозабор, используемый для питьевых целей, находится на расстоянии в более чем 4,5 км, где откачка производится из толщи пород четвертичного возраста [8].

За многолетний период захоронения вод на территории Ямало-Ненецкого нефтегазодобывающего региона компонентов минерализованных хлоридных вод в зоне пресных не выявлено [2].

Таким образом, воздействие полигонов закачки на газовую залежь может быть связано главным образом с увеличением пластового давления в зоне закачки. Следует отметить, что при разработке сеноманской газовой залежи пластовое давление снижается, но закачка сточных вод такое снижение частично компенсирует. Закачка стоков на исследуемом объекте производится под разрабатываемую сеноманскую газовую залежь преимущественно при давлении нагнетания на устье поглощающих скважин не более чем в 5 МПа. Актуальные мониторинговые исследования показывают, что закачки сточных вод недостаточно для предотвращения снижения пластового давления.

На конец расчетного срока давление закачки прогнозируется не более 1,6 атм, что меньше предельно допустимой величины 117 атм.

#### *Библиографический список*

1. Гольдбергер В. М., Скворцов Н. П., Лукьянчикова Л. Г. Подземное захоронение промышленных сточных вод. – М.: Недра, 1994. – 282 с.
2. Бешенцев В. А., Семенова Т. В. Подземные воды севера Западной Сибири (в пределах Ямало-Ненецкого нефтегазодобывающего региона). – Тюмень: ТюмГНГУ, 2015. – 224 с.
3. Захоронение промстоков в недра Ямало-Ненецкого автономного округа / В. А. Бешенцев [и др.] // Материалы Всеросс. совещания по подземным водам Сибири и Дальнего Востока. – Иркутск, 2006. – С. 415–418.
4. РД 51-31323949-48-2000. Гидрогеологический контроль на полигонах закачки промышленных сточных вод. ООО «ИРЦ Газпром» / Под ред. В. П. Ильченко. – М., 2002. – 122 с.
5. Каменев А. П. РД 00158758-182-94. Методические рекомендации по обоснованию выбора поглощающих горизонтов и проектированию закачки промстоков на газовых предприятиях Западной Сибири. – Тюмень, 1995. – 100 с.
6. СТО РД Газпром 39-1.13-087-2003. Методические рекомендации по обоснованию выбора поглощающих горизонтов и проектированию закачки сточных вод на объектах ОАО «Газпром» в Западной Сибири. – М.: ИРЦ Газпром, 2003.
7. Бешенцев В. А., Семенова Т. В., Павлова Е. И. Захоронение сточных вод на нефтепромыслах севера Западной Сибири (на примере Ямало-Ненецкого нефтегазодобывающего региона) // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2014. – № 5. – С. 6–9.
8. Бешенцев В. А., Лазутин Н. К. Мезозойские подземные воды Пур-Тазовской нефтегазоносной области Ямало-Ненецкого нефтегазодобывающего региона // Горные ведомости. – 2017. – № 3. – С. 32–41.
9. Обезвреживание сточных вод в Ямало-Ненецком автономном округе / В. А. Бешенцев [и др.] // Горные ведомости. – 2008. – № 2. – С. 86–96.

#### *Сведения об авторах*

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

**Бешенцев 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

**Гудкова Ангелина Аркадьевна**, студент, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, тел. 89097416675

#### *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

**Gudkova A. A.**, Student, Industrial University of Tyumen, phone: 89097416675