УДК 556.38:556.013(571.1)

**ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ЗАХОРОНЕНИЯ СТОЧНЫХ ВОД
НА ТЕРРИТОРИИ ВЫНГАПУРОВСКОГО ГАЗОВОГО ПРОМЫСЛА
ЯМАЛО-НЕНЕЦКОГО НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩЕГО РЕГИОНА**

**HYDRO-GEOLOGICAL CONDITIONS OF DUMPING WASTEWATER WITHIN
THE TERRITORY OF THE VYNGAPUROVSKOYE GAS FIELD
IN THE YAMAL-NENETS OIL AND GAS PRODUCING REGION**

Н. К. Лазутин, В. А. Бешенцев

N. K. Lazutin, V. A. Beshentsev

Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

*Ключевые слова: сточные воды; регион; загрязнение; обезвреживание;
захоронение; месторождение*

Key words: wastewater; region; pollution; disposal; dumping; deposit

Проблема обезвреживания (утилизации) сточных вод нефтегазодобывающих предприятий крайне актуальна, так как ряд стоков, в частности «подтоварные» воды, образующиеся после сепарации водонефтяной эмульсии, обладают высокой токсичностью и повышенной минерализацией (15–20 г/дм³). Они не могут быть очищены до состояния, делающего их безопасными для сброса в речную сеть [1, 2]. В условиях Севера, она нередко представляется вообще трудноразрешимой. Ставка на традиционные очистные сооружения далеко не всегда оправдывает себя.

В результате стоки практически без очистки и обезвреживания (или недостаточно очищенные и обезвреженные) сбрасываются в водоемы, водотоки и на релье-

еф, что оказывает отрицательное воздействие на атмосферу, гидросферу, растительность, животный мир и здоровье человека [2]. Исходя из этого, все больше нефтегазовых предприятий проводят захоронение сточных вод в недра, изыскивая для этого процесса наиболее благоприятные и надежные водоносные горизонты, считая его наиболее экологически безопасным и экономичным методом обезвреживания сточных вод.

В России практика подземного захоронения опасных промышленных отходов началась с конца 50-х — начала 60-х годов. Первые работы в этой области были связаны с созданием и эксплуатацией полигонов захоронения радиоактивных отходов в районах городов Томска, Красноярска, Димитровграда. Благодаря этому способу за весь период функционирования атомной промышленности из среды непосредственного обитания человека удалено около 50 млн м³ жидких отходов, содержащих более половины радиоактивности, образовавшейся в отходах атомной промышленности. Многолетние (более 40 лет) наблюдения, специальные исследования и многочисленные экспертизы (в том числе с участием представителей международных организаций) показывают полную экологическую безопасность этих объектов подземного захоронения. Используют эту технологию в России также химическая промышленность, предприятия по добыче и переработке нефти и газа. Наиболее освоен метод подземного захоронения в газовой и нефтедобывающей промышленности [2, 3].

Методы подземного захоронения широко используются в Ямало-Ненецком нефтегазодобывающем регионе, где закачка стоков выступает самостоятельной отраслью при разработке газовых месторождений и составной частью технологического процесса при добыче нефти. К настоящему времени в регионе обустроено 57 полигонов захоронения [3].

Вынгапуровский газовый промысел (исследуемый объект) располагается в пределах Вынгапуровского нефтегазоконденсатного месторождения. Месторождение относится к Губкинскому нефтегазоносному району Надым-Пурской нефтегазоносной области Ямало-Ненецкого нефтегазодобывающего региона. Полигон захоронения находится в 500 м севернее установки комплексной подготовки газа (УКПГ) и имеет размеры 50 x 50 м. Он включает в себя одну специально оборудованную поглощающую скв. 301. Захоронение сточных вод ведется с 1996 года, в среднем в объеме 30–40 м³/сутки. Суммарный объем закачки стоков за период эксплуатации до 2016 года составил 154 542 м³. На рисунке 1 показана динамика закачки сточных вод по годам. В соответствии с «Положением об охране подземных вод» использование глубоких горизонтов подземных вод допускается только при соблюдении специальных требований и условий. Их захоронение осуществляется путем закачки в глубокие, надежно изолированные водоносные горизонты, не содержащие пресные, бальнеологические, минеральные, термальные и промышленные воды, которые используются или намечаются к использованию [4]. Гидрогеологические исследования показали, что выбор сеноманского водоносного горизонта на Вынгапуровском месторождении в качестве поглощающего вполне соответствует критериям выбора, указанным в методических указаниях [5, 6].

Захоронение сточных вод в недра в пределах исследуемого участка осуществляется на основании ряда правовых и нормативных документов, регламентирующих этот процесс. Они подробно изложены в «Положении об охране подземных вод» (1984), в законах РФ «Об охране окружающей природной среды» (1991), «О недрах» (1992), «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 ОАО «Газпром» подготовлено и издано методическое руководство «Гидрогеологический контроль на полигонах закачки промышленных сточных вод» (РД 51-31323949-48-2000) [4]. Методическое руководство согласовано с Мини-

стерством топлива и энергетики РФ, Министерством природных ресурсов РФ, Госгортехнадзором РФ, утверждено заместителем председателя правления ОАО «Газпром» В. В. Ремизовым.

Рис. 1. Объем закачиваемых стоков по годам

При захоронении стоков в качестве эксплуатируемого пласта-коллектора используется сеноманский водоносный горизонт апт-альб-сеноманского гидрогеологического комплекса, представленный в основном слабоцементированными породами: песчаниками, алевролитами с прослоями глин. Горизонт, используемый в качестве поглощающего, залегает на глубинах от 973 до 1 174 м и имеет мощность от 189 до 202 м [7]. Подошвой объекта являются отложения альбского яруса.

По отношению к газовой залежи поглощающий горизонт включает в себя подошвенные и законтурные воды. В кровле апт-сеноманского гидрогеологического комплекса залегает мощная толща турон-палеогеновых глинистых пород мощностью до 750 м, а также толща многолетнемерзлых пород (ММП), благодаря чему он надежно изолирован от вышележащего эоцен-олигоценного водоносного комплекса (ВК), подземные воды которого используются в хозяйственно-питьевых целях. Тем более он изолирован от поверхностной гидросферы [7].

Закачиваемые стоки по химическому составу гидрокарбонатные натриевые. Они маломинерализованные, величина минерализации стоков обычно до 1 г/дм³, редко до 1,5–2 г/дм³, плотность около 1 г/см³. Содержание (мг/дм³) взвешенных частиц не более 50 (чаще 10–20), железа до 10, йода до 2, брома до 8, нефтепродуктов до 3 (чаще менее 1). Содержание метанола и диэтиленгликоля в стоках высокое. Характерный состав стоков, сбрасываемых на Вынгапуровском газовом промысле, представлен в таблице.

Таким образом, современный состав сточных вод (промышленные стоки разбавленные хозяйственно-бытовыми), закачиваемых в поглощающий горизонт на Вынгапурском месторождении, характеризуется общей минерализацией (сухим остатком) от 76,4 до 860,9 мг/дм³, водородным показателем от 7,4 до 10,08, активная реакция среды щелочная (см. табл.). По химическому составу стоки гидрокарбонатные натриевые.

Усредненный химический состав стоков [7]

Содержание компонентов, мг/дм ³	Промышленные		Хозяйственно-бытовые		Закачиваемые
	до очистки	после очистки	до очистки	после очистки	
Обобщенные показатели					
Водородный показатель рН (ед.)	9,58	10,08	6,82	7,4	7,51
Общая минерализация	1 302,45	860,9	121,35	76,4	–
Нефтепродукты	2 310,93	0,69	0,13	0,04	2,51
Механические примеси	140,45	57,05	125,07	39,47	–
Окислительно-восстановительный потенциал (мВ)	137	130	161	174,5	–
Плотность (г/дм ³)	1	1	1	1	0,99
Температура (°С)	19	19,5	20	19	19,17
Неорганические вещества					
Гидрокарбонат-ион	103,5	286,6	70,2	42,7	–
Карбонат-ион	618	207	< 6	< 6	–
Железо окисное	2,22	2,27	5,03	1,08	–
Железо общее	5,28	3,04	7,76	1,54	4,3
Калий	8,95	30,55	4,89	6,27	–
Натрий	514,9	277,5	16,77	9,74	–
Кальций	4,52	2,08	7,44	7,83	–
Магний	3,59	2,05	3,91	3,95	–
Сульфат-ион	< 2	< 2	< 2	< 2	–
Хлорид-ион	44,4	55,15	18,5	10,94	–
Кислород растворенный	2,86	0,87	1,17	3,51	–
Метанол	2 731	2 082	272,25	269,1	7 030
Сероводород	0,68	0,88	0,13	0,82	–
Триэтиленгликоль (%)	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,98
Агрессивность, (степень)	низкая	низкая	низкая	низкая	–
Взвешенные вещества	–	–	–	–	17,59

Примечание. Приведены средние значения компонентов за период эксплуатации

Согласно имеющимся данным хозяйственно-бытовые сточные воды после прохождения КОС-150 имеют сухой остаток от 71 до 206 мг/дм³. По химическому составу они гидрокарбонатные натриевые, с кислой до щелочной реакцией среды. Стоки не соответствуют ОСТ 39-225-88 по растворенному кислороду до 4 мг/дм³, присутствию сероводорода до 1,64 мг/дм³, иногда по содержанию взвешенных веществ.

Перед закачкой в недра сточные воды проходят водоподготовку, которая включает в себя их предварительное отстаивание, фильтрационное удаление твердых взвешенных частиц и взвеси, удаление плавающих нефтепродуктов (на нефтеловушках) (рис. 2).

Наряду с этим при захоронении сточных вод в глубокие поглощающие горизонты возникает вопрос их совместимости с водами, которые находятся в данном горизонте.

Для оценки совместимости сточных и пластовых вод были проведены исследования, суть которых сводилась к определению возможности выпадения солевого остатка при смешивании. В большинстве случаев солевой остаток представлен осадками карбоната и сульфата кальция. Для оценки возможности выпадения осадка были проведены расчеты с использованием методов Г. А. Стиффа,

Л. Е. Дэвиса, которые показывают, что при смешении сточных вод с пластовой водой осадков не образуется, то есть можно предполагать, что воды совместимы.

Многолетний опыт эксплуатации месторождений в пределах Ямало-Ненецкого нефтегазодобывающего региона подтверждает отсутствие осадкообразования при захоронении сточных вод в поглощающие горизонты [1, 2].

Рис. 2. Нефтеловушка

Подземное захоронение промышленных сточных вод неизбежно ведет к загрязнению подземных вод апт-альб-сеноманского гидрогеологического комплекса. Прогнозные расчеты площадей растекания стоков на участке захоронения свидетельствуют о незначительном радиусе распространения сточных вод (менее 900 м), которые не должны оказывать отрицательного воздействия на разработку газовых залежей и использование вод в лечебных целях [7]. Многолетний опыт подземного захоронения на территории Ямало-Ненецкого нефтегазодобывающего региона свидетельствует о том, что компоненты минерализованных хлоридных вод в зоне пресных вод не обнаруживаются [3].

Воздействие полигонов закачки на газовую залежь может быть связано, главным образом, с увеличением пластового давления в зоне закачки. Однако в процессе разработки сеноманской газовой залежи происходит снижение пластового давления, которое частично компенсируется ростом давления при закачке сточных вод. Результаты наблюдений и проведенные прогнозные расчеты на Вынгапуровском месторождении показывают, что пластовое давление в сеноманском поглощающем горизонте (несмотря на осуществляемую закачку стоков) на расчетный срок эксплуатации составит от 0,244 до 6,6 МПа. Учитывая, что создаваемое давление при осуществлении закачки сточных вод в поглощающий горизонт, частично компенсирует падение пластового давления при добыче углеводородов, закачку промышленных стоков можно отнести к дополнительным природоохранным мероприятиям, частично восстанавливающим естественное гидродинамическое равновесие, нарушенное отбором газа.

Вместе с тем нельзя не отметить реальную опасность негативного воздействия закачиваемых стоков для газоносных пород и водоносных горизонтов, в том числе

питьевых, залегающих выше поглощающего горизонта. Это воздействие может быть связано, во-первых, с продвижением стоков к залежам по «литологическим окнам», в альб-сеноманских отложениях. Во-вторых, стоки могут подниматься вплоть до олигоцен-четвертичного комплекса по затрубному пространству в случае неудовлетворительного качества цементирования скважины и негерметичности эксплуатационной колонны, а также при перемерзании и коррозии трубопроводов, при расположении вблизи скважин амбаров-накопителей и несоблюдении регламента закачки.

Для примера необходимо отметить некоторые случаи негативного воздействия, произошедшие на территории Ямало-Ненецкого нефтегазодобывающего региона.

Так в 2001 году на полигоне поселка Уренгой был зафиксирован выход сточных вод на поверхность по затрубному пространству в одной из неработающих поглощающих скважин. На основании этого можно предположить, что здесь происходит загрязнение питьевого олигоценового водоносного горизонта, подземные воды которого каптируются поселковым водозабором с дебитом 1 200 м³/сут, расположенным в 500 м юго-восточнее полигона. В этом же году выявлено загрязнение поверхностных и подземных питьевых вод на участке захоронения г. Губкинского. Источником загрязнения здесь стал амбар-отстойник, неимеющий гидроизоляции, куда сбрасывались стоки перед подачей в поглощающие скважины. Непосредственно в наблюдательных скважинах на пресные подземные воды, расположенных вблизи амбара, повысилась окисляемость, возросло содержание иона аммония, фосфатов, что указывало на биогенное загрязнение подземных вод. Источник загрязнения был ликвидирован. Оба случая загрязнения пресных подземных вод произошли на участке действующих полигонов захоронения в недра сточных вод [2].

Проведенные гидрогеологические исследования на Вынгапуровском полигоне захоронения сточных вод основаны на лабораторных данных химического состава, микробиологическом анализе и оценке совместимости с пластовыми водами. Полученный материал свидетельствует о том, что несмотря на существующее разнообразие методов утилизации промышленных отходов, метод закачки промышленных стоков в глубокие поглощающие горизонты является наиболее эффективным, рациональным и экологически безопасным.

Список литературы

1. 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.
2. 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. 6–10.
3. Бешенцев В. А., Семенова Т. В. Подземные воды севера Западной Сибири (в пределах Ямало-Ненецкого нефтегазодобывающего региона). – Тюмень: ТюмГНГУ, 2015. – 224 с.
4. РД 51-31323949-48-2000. Методическое руководство. 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. Грецева О. В., Михайлов В. И. Программа по организации и ведению мониторинга за состоянием недр на полигоне захоронения хозяйственно-бытовых и производственных сточных вод Вынгапуровского газового промысла. ООО НПП «ЯмалЭГЭ НП». – Салехард, 2008. – 81 с.

Сведения об авторах

Лазутин Николай Константинович, студент, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, тел. 8(3452)390346, e-mail: kpw72@yandex.ru

Бешенцев Владимир Анатольевич, д. г.-м. н., профессор кафедры геологии месторождений нефти и газа, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, тел. 8(3452)390346, e-mail: Jeang@mail.ru

Information about the authors

Lazutin N. K., Undergraduate, Industrial University of Tyumen, phone: 8(3452)390346, e-mail: kpw72@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: 8(3452)390346, e-mail: Jeang@mail.ru