

Геология, география и глобальная энергия. 2022. № 2 (85). С. 118–124.
Geology, Geography and Global Energy. 2022; 2(85):118–124 (In Russ.).

Научная статья

УДК 504.75

doi 10.54398/20776322_2022_2_118

**ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ НЕДР
НА ПОЛИГОНЕ УТИЛИЗАЦИИ СТОЧНЫХ ВОД
АСТРАХАНСКОГО ГАЗОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО ЗАВОДА¹⁴**

Ушивцева Любовь Франковна¹✉, Шарова Оксана Анатольевна²,

Ярославцев Илья Олегович³

^{1,3}Астраханский государственный университет, Астрахань, Россия

²ИТЦ ООО «Газпром добыча Астрахань», Астрахань, Россия

¹ushivceval@mail.ru✉

²oksana_sharova@mail.ru

³ilya13355@mail.ru

Аннотация. Захоронение промышленных стоков в геологические недра началось в 1930–1940 гг. в США и в дальнейшем стало применяться практически во всех странах, в том числе в России, в первую очередь, для поддержания пластового давления при разработке месторождений нефти. Способ подземной утилизации промстоков в геологические недра применяется на месторождениях Грозного (Грозненское), республик Туркменистана (Кум Даг), Азербайджана (Суруханы, Балаханы), Татарстана (Ромашкинское), Казахстана (Карачаганак, Тенгиз), на Астраханском, Оренбургском, Уренгойском и ряде других месторождений России. В связи с этим весьма актуальной в химической, атомной и, особенно, в нефтегазовой отрасли является разработка системы геоэкологического контроля состояния недр при подземном захоронении с использованием новых технологий. Известно, что промстоки представляют собой смесь вод, добытых вместе с нефтью и газом и вод, образующихся в результате технологических процессов (бурения, подготовки и переработки нефти и газа), которые содержат растворенные минеральные соли, органические вещества, механические примеси и бактерии. Согласно требованиям СП 127.13330.2017, для захоронения таких отходов требуется соблюдение геолого-гидрогеологических условий, конструкции нагнетательных скважин, режима их работы, строгий контроль и мониторинг за функционированием полигонов.

Ключевые слова. Промышленные стоки, полигон захоронения, геоэкологический контроль, гидрогеологические параметры, радиус распространения, рабочий горизонт, фронт промстоков

Для цитирования: Ушивцева Л. Ф., Шарова О. А., Ярославцев И. О. Геоэкологический мониторинг состояния недр на полигоне утилизации сточных вод Астраханского газоперерабатывающего завода // Геология, география и глобальная энергия. 2022. № 2 (85). С. 118–124. https://doi.org/10.54398/20776322_2022_2_118.

**GEO-ENVIRONMENTAL MONITORING OF THE SUBSURFACE STATE
AT THE WASTE WATERS DISPOSAL SITE
OF THE ASTRAKHAN GAS-PROCESSING PLANT**

Lubov F. Ushivceva¹✉, Oksana A. Sharova², Ilya O. Yaroslavtsev³

^{1,3}Astrakhan State University, Astrakhan, Russia

²Engineering center of ООО “Gazprom добыча Астрахань”, Astrakhan

¹ushivceval@mail.ru✉

²oksana_sharova@mail.ru

³ilya13355@mail.ru

Abstract. Disposal of waste waters into subsurface started in 1930-1940 in the USA, after that it became customary almost in all countries, and, first of all, it aimed at maintenance of formation pressure during oil fields development. The method of waste waters disposal into subsurface is used at fields of Grozniy (Groznskoye), in the republics of Turkmenistan (Kum Dag field), Azerbaidjan (Surukuny, Balakhany), Tatarstan (Romashkinskoye), Kazakhstan (Karachaganak, Tengiz), at Astrakhan, Orenburg, Urengoy and other fields. Therefore, development of new technologies for geological and environmental monitoring of subsurface state during waste waters and other production wastes disposal is crucial. It is known that waste waters are a mix of waters recovered together with oil and gas, or produced as a result of operational processes (drilling, preparation and processing of oil and gas) and which contain dissolved mineral salts, organic substances, mechanical impurities and bacteria.

Keywords: Waste waters, disposal site, geological and environmental monitoring, hydrogeological characteristic, production level, waste waters front

For citation: Ushivceva L. F., Sharova O. A., Yaroslavtsev I. O. Geo-environmental monitoring of the subsurface state at the waste waters disposal site of the Astrakhan Gas-Processing Plant. *Geology, Geography and Global Energy*. 2022; 2(85):118–124. https://doi.org/10.54398/20776322_2022_2_118.

Захоронение промышленных стоков определяется тектоническим строением территории и характером водообмена подземных вод, локальными условиями, емкостными и фильтрационными свойствами водоносных горизонтов, их изолированностью в пределах участка, предназначенного для захоронения. Гидрогеологическими условиями, благоприятными для захоронения сточных вод, являются надежная изолированность поглощающих водоносных горизонтов от поверхности земли и от горизонтов, используемых для хозяйственно-питьевого водоснабжения, высокие фильтрационные свойства водовмещающих пород и отдаленность областей их разгрузки. Захоронения проводят, как правило, лишь в водоносные горизонты с минерализованной водой (концентрация солей более 10 г/дм³), не имеющей питьевого и бальнеологического значения [1].

Промстоки Астраханского ГПЗ с плотностью 1,000–1,008 г/дм³, минерализацией 4,2–11,4 г/дм³, pH 5,5–12,0, с содержанием сероводорода 31–4 000 мг/дм³ относятся к группе 7 отходов, слабокислые или щелочные растворы, содержащие органические и минеральные соли или вещества (СП 127.13330.2017), к IV классу опасности – малоопасным [6]. Согласно требованиям указанного СП для захоронения таких отходов требуются грунты с коэффициентом фильтрации не более 10⁻⁵ см/с не требующие установление противofiltrационных экранов. Образующиеся промышленные стоки утилизируют в глубокие водоносные основные рабочие горизонты – нижнего мела (аптский ярус) и юры (келловейский ярус), сложенные песчано-глинистыми отложениями на собственном полигоне закачки промстоков (ПЗП). В разрезе полигона выделено также два резервных буферных горизонта – (альбский ярус и верхний мел). Верхним водоупором хранилища промстоков служит толща глин акчагыльского яруса, нижним водоупором – верхнепермско-триасовые отложения, обладающие низкими фильтрационно-емкостными свойствами, что препятствует перетоку промстоков в ниже и вышезалегающие горизонты [3, 5].

Воды выделенных рабочих горизонтов расположены в зоне застойного гидродинамического режима, не имеют выходов на дневную поверхность, представляют собой рассолы с высокой минерализацией и практического хозяйственного значения не имеют [3]. Высокие ФЕС рабочих горизонтов обеспечивают хорошую приемистость поглощающих скважин (табл. 1).

Главным требованием, предъявляемым к функционированию ПЗП, является его экологическая безопасность. Функционирующий ПЗП АГПЗ и рабочие водоносные горизонты соответствуют перечисленным геоэкологическим требованиям, а именно:

- воды рабочих горизонтов не используются и не будут использоваться в хозяйственно-питьевых целях;
- горизонты не выходят на поверхность в ближайшей окрестности (в радиусе 20–30 км);

- они надежно изолированы сверху и снизу региональными водоупорами;
- для безопасной эксплуатации полигона захоронения промстоков выше водо-поглощающих пластов залегают буферные (аварийные) горизонты, ограниченные флюидоупорами, способными обеспечивать размещение стоков в случае их перетекания через разделяющий слабопроницаемый горизонт;
- поглощающие горизонты обладают высокими фильтрационно-емкостными свойствами и толщиной, достаточной для приема объема поступающих стоков при допустимых репрессиях на пласт;
- рабочие горизонты полигона слагают глубокую межкучпольную мульду и удалены на сотни километров от областей питания.

Таблица 1 – Основные гидрогеологические параметры пластов-коллекторов

Параметры	Диапазон значений
Юрский рабочий горизонт (келловейский ярус J2)	
Эффективная толщина, м	4,4–12,8
Пористость, %	19–23
Проницаемость, 10^{-15} м^2	0,35–0,94
Дебит воды, $\text{м}^3/\text{сут.}$	119–432
Минерализация воды, г/дм^3	303
Плотность воды, г/дм^3	1,192
Тип воды	натриевые, хлоридно-кальциевые
Нижнемеловой рабочий объект	
Эффективная толщина, м	19,5–24,1
Пористость, %	20–29
Проницаемость, 10^{-15} м^2	0,56–23,3
Дебит воды, $\text{м}^3/\text{сут}$	259
Минерализация воды, г/дм^3	274
Тип воды	натриевые, хлоридно-кальциевый
Плотность воды, г/дм^3	—

Таким образом, геологические, гидрогеологические и экологические условия полигона, соответствующая конструкция нагнетательных скважин обеспечивают экологическую безопасность захоронения промстоков в недрах, исключают выход закачиваемых промстоков на поверхность, а также их перетекание в вышележащие горизонты.

Технологический режим закачки и работа каждой поглощающей скважины разрабатывается ежеквартально.

Наряду с экологической безопасностью, закачка промстоков в подземные горизонты, может одновременно приводить к изменениям в геологической среде, таким как:

- появлению избыточного давления на устьях нагнетательных скважин;
- увеличению напора (пластового давления) в пласте-коллекторе;
- пластовой температуры и уровня подземных вод;
- изменению компонентного состава фоновых пластовых вод;
- повышенной газонасыщенности пластовых вод;
- вертикальной миграции промстоков в перекрывающие отложения [7].

В процессе эксплуатации поглощающих скважин не исключены также различного рода нарушения герметичности обсадных колонн, состояния цементного камня, загрязнения зоны перфорации и призабойной зоны, что может привести к неконтролируемым перетокам промстоков и увеличению давления на устье.

Для своевременного выявления отклонений режима работы в скважинах проводится комплекс гидродинамических (замер уровней, давлений и температуры), гидрохимических (отбор и анализ проб), геофизических (для определения технического состояния эксплуатационных колонн и контроля приемистости поглощающих горизонтов), газохимических исследований (определение газового состава промстоков

и пластовых вод), ремонтно-восстановительные работы (очистка стволов и призабойной зоны пласта, восстановление приемистости, размыв песчаных пробок, метанольно-кислотные обработки), контроль радиуса распространения промстоков [2, 8].

В целом, промстоки, закачиваемые в горизонты подземного хранилища, не влияют на вышележащие водоносные горизонты, и по данным гидродинамического контроля взаимосвязи пластовых систем друг с другом в пределах ПЗП не наблюдается.

В результате гидрохимического контроля установлено, что все наблюдательные скважины заполнены природными пластовыми водами контролируемых горизонтов, влияние промстоков на воды вышележащих контролируемых горизонтов не обнаружено, что подтверждает отсутствие межпластовых и заколонных перетоков из горизонтов подземного хранилища.

Использование промыслово-геофизических методов для выявления принимающих интервалов и определения равномерности продвижения фронта промстоков из-за различия величин проницаемости и пористости по пласту не всегда успешно [7]. В связи с чем, на полигоне промстоков в последние годы применяются новые методы контроля и диагностики. Повышение пластовых давлений в результате нагнетания промстоков будет наблюдаться на расстоянии, равном приведенному радиусу влияния:

$$R_n = 1,5\sqrt{at},$$

где R_n – радиус зоны влияния полигона;

t – период эксплуатации полигона, сут.;

a – коэффициент пьезопроводности, для ориентировочных расчетов принимаемый равным $5 \cdot 10^4 \dots 10^5 \text{ м}^2/\text{сут.}$

При этих значениях R_n 30–50 км.

Радиус подземного распространения промстоков в поглощающем горизонте R может быть определен по формуле:

$$R = \sqrt{\frac{\sum V_{\text{ж}}}{\pi \times K_{\text{охв}} \times K_{\text{в}} \times h_{\text{эф}} \times m_{\text{эф}} \times K_{\text{н}}}},$$

где R – радиус подземного распространения промстоков в поглощающем горизонте, м;

$\sum V_{\text{ж}}$ – объем стоков с начала эксплуатации ПЗП, м^3 ;

$K_{\text{охв}}$ – коэффициент охвата, учитывает возможность неравномерного распространения промстоков по отдельным пропласткам (1);

$K_{\text{в}}$ – коэффициент вытеснения пластовой воды (0,7);

$h_{\text{эф}}$ – эффективная толщина поглощающего горизонта;

$m_{\text{эф}}$ – коэффициент пористости коллекторов поглощающего горизонта (0,22);

$K_{\text{н}}$ – коэффициент надежности гидродинамических расчетов с учетом фактических данных достижения промстоками наблюдательной скважины (0,34).

Фактический радиус распространения промстоков в аптском рабочем горизонте приведен на рисунке 1.

Для контроля продвижения фронта промстоков по пласту (радиуса зоны влияния) на полигоне начиная с 2012 по 2022 г. применяются пассивные микросейсмические методы – низкочастотное сейсмическое зондирование (НСЗ) и локация микросейсмических событий (ЛМС). По результатам этих работ установлено, что массив промстоков находится в пределах горного отвода полигона АГПЗ, основное направление продвижения фронта промстоков – южное. Ширина фронта продвижения промстоков составляет 250 м, длина продвижения 250–400 м, границы контура промстоков и зоны пониженных значений сжимаемости пластового флюида в северном и северо-западном направлении начиная с 2012 г. остаются неизменными (рис. 2).

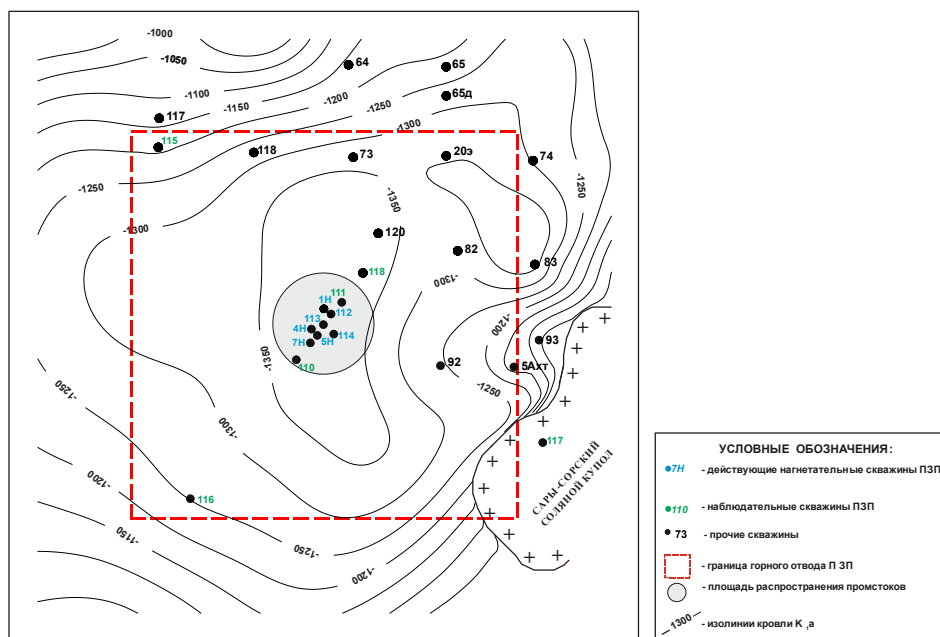


Рисунок 1 – Радиус распространения промстоков в аптском горизонте

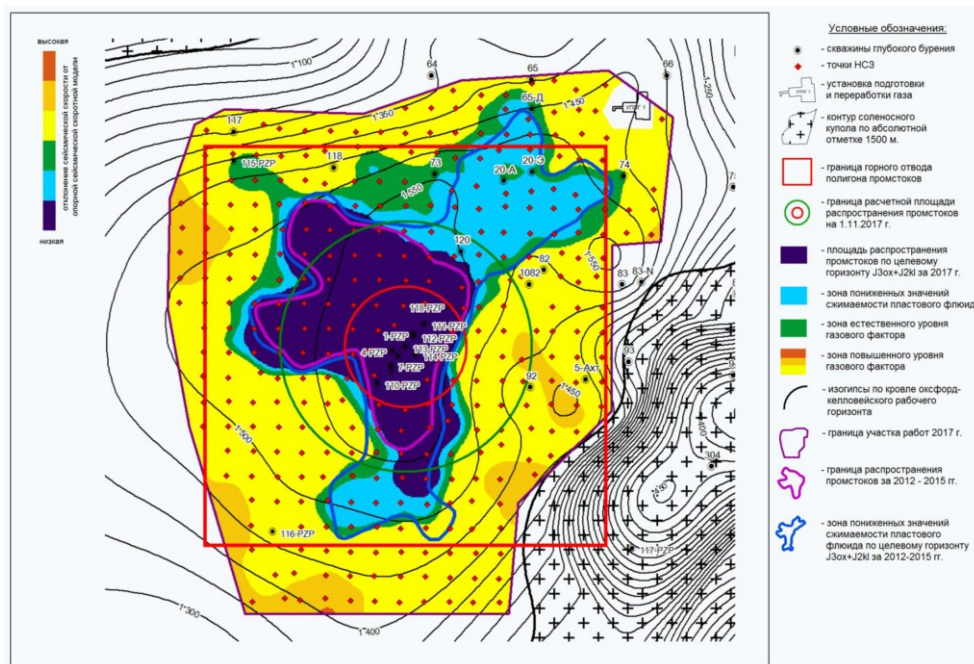


Рисунок 2 – Схема распространения промстоков по данным НСЗ

Для контроля технического состояния поглощающих скважин, определения динамических характеристик пласта, выявления интервалов возможного наличия заколонных и межпластовых перетоков, определения направления движения пластового флюида вдоль оси ствола скважин проводится также техническое диагностирование геофизическим методом ТК ГАК.

Выводы

По данным комплексных исследований (гидрогеологических, гидрохимических, гидродинамических, геотермических и др.) контур распространения проток, закачиваемых в подземные горизонты (юра, апт), не достиг границ горного отвода ПЗП. Существующий полигон не оказывает вредного воздействия на окружающую среду.

Список источников

1. Иванкин В. П., Худяков Г. И. О геоэкологических условиях захоронения проток в недрах Земли. Москва: ВИНТИ, 2000. 310 с.
2. Технология глубинных нефтегазопроисловых гидрогеологических исследований / В. П. Ильченко, Б. П. Акулинчев, Ю. Г. Гирин и др. Москва: Недра, 1992. 170 с.
3. Инструкция по комплексному исследованию газовых и газоконденсатных пластов и скважин / под ред. Г. А. Зотова, З. С. Алиева. Москва: Недра, 1980. 295 с.
4. Косков В. Н., Юшков И. Р., Хижняк Г. П. Промыслово-геофизические характеристики объектов захоронения сточных вод при разработке нефтяных и газовых месторождений: учеб. пос. Пермский нац. исслед. политех. ун-т, 2015. 102 с.
5. Мерчева В. С., Ушивцева Л. Ф., Шарова О. А. Мониторинг объектов окружающей среды в районе полигона по захоронению промышленных сточных вод // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2012. № 12. С. 7–13.
6. СП 127.13330. 2017. Полигоны по обезвреживанию и захоронению токсичных промышленных отходов. Основные положения по проектированию / АО «ЦНС». URL: <https://docs.cntd.ru/document/556794132?section>.
7. Сизикова Г. Г. Оценка воздействия на окружающую среду и мониторинг подземного захоронения сточных вод (на примере Сандибинского месторождения ЯНАО) // Нефтепромысловое дело. 2009. № 4. С. 50–54.
8. Технология газопромысловых гидрогеологических исследований / под ред. Л. М. Зорькина, Б. П. Акулинчева. Москва: Недра, 1997. 297 с.

References

1. Ivankin V. P., Khudyakov G. I. About geoeological conditions of industrial waste disposal into the subsurface of the Earth. Moscow: VINITI; 2000:310 p.
2. Ilchenko V. P., Akulinchev B. P., Girin Yu. G. et al. Technology of deep oil and gas prospecting hydrogeological studies. Moscow: Nedra; 1992:170 p.
3. Instructions for the comprehensive study of gas and gas condensate reservoirs and wells. Ed. by G. A. Zotov, Z. S. Aliyev. Moscow: Nedra; 1980:295 p.
4. Koskov V. N., Yushkov I. R., Khizhnyak G. P. Field-geophysical characteristics of wastewater disposal objects in the development of oil and gas fields. Perm: Publishing House of Perm National Research Polytechnic University; 2015:102 p.
5. Mercheva V. S., Ushvtseva L. F., Sharova O. A. Assessment of pollution and condition of groundwater in the exploration and development of oil and gas fields. *Environmental protection in the oil and gas complex*. Moscow: VNIIOENG; 2015; 4:36–39.
6. SP 127.13330.2017. Areas for toxic industrial wastes sterilization and disposal. Basic provisions on design. Center for Methodology, Normalization and Standardization in Civil Engineering. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/556794132?section>.
7. Sizikova G. G. Environmental impact assessment and monitoring of underground wastewater disposal (on the example of the Sandibinsky field of the Yamalo-Nenets Autonomous District). *Oilfield Business*. 2009; 4:50–54.
8. Technology of gas-field hydrogeological research. Ed. by L. M. Zorkin, B. P. Akulinchev. Moscow: Nedra; 1997:297 p.

Информация об авторах

Быстрова И. В. – кандидат геолого-минералогических наук, доцент;
Шарова О. А. – ведущий инженер;
Яровлавец И. О. – студент

Information about the authors

Ushivceva L. F. – Candidate of Sciences (Geology and Mineralogy), Associate Professor;
Sharova O. A. – Leading Engineer;
Yaroslavtsev I. O. – student,

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.
The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 06.04.2022; одобрена после рецензирования 11.04.2022;
принята к публикации 14.04.2022.

The article was submitted 06.04.2022; approved after reviewing 11.04.2022; accepted for
publication 14.04.2022.