ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОБЛЕМЫ СКЛАДИРОВАНИЯ ЖИДКИХ ОТХОДОВ МНОГОТОННАЖНЫХ ПРОИЗВОДСТВ В ПОДЗЕМНЫХ ХРАНИЛИЩАХ

ENVIRONMENTAL ASPECTS OF LARGE-TONNAGE PRODUCTION LIQUID WASTE STORAGE INTO THE UNDERGROUND STORAGE

Ю. С. Кузнецов
Yuriy S. Kuznetsov

Институт машиноведения
им. А.А. Благонравова
Российской академии наук,
г. Москва, Российская Федерация

Mechanical Engineering Research
Institute of the Russian
Academy of Sciences,
Moscow, Russian Federation

Б. Ю. Чапля
Bogdan Yu. Chaplia

Институт машиноведения
им. А.А. Благонравова
Российской академии наук,
г. Москва, Российская Федерация

Mechanical Engineering Research
Institute of the Russian
Academy of Sciences,
Moscow, Russian Federation

А. Р. Хафизов
Airat R. Khafizov

Уфимский государственный
нефтяной технический
университет,
г. Уфа, Российская Федерация

Ufa State Petroleum
Technological University,
Ufa, Russian Federation

А. П. Шульгина
Anna P. Shulgina

Институт машиноведения
им. А.А. Благонравова
Российской академии наук,
г. Москва, Российская Федерация

Mechanical Engineering Research
Institute of the Russian
Academy of Sciences,
Moscow, Russian Federation

В статье приведены технологические схемы двух принципиально разных способов складирования жидких отходов. Проанализированы технологии накопления жидких отходов многотоннажных производств. Определены преимущества и недостатки способов складирования жидких отходов. Отмечена ограниченность количества подходящих пластов-коллекторов при глубинном складировании с точки зрения обязательных требований к отсутствию пресных вод и изоляции от них, наличию региональных водоупорных покрышек (экранов), представляющих собой слабопроницаемые или многолетнемерзлые породы, наличию необходимой вмещающей коллекторской емкости и соблюдению границ горного отвода недр, поскольку при заполнении пласта-коллектора необходимо соблюдать ограничение ореола распределения подземных загрязнений в пределах границы горного отвода недр. Фактические размеры ореолов подземных загрязнений в пластах-коллекторах зависят от объема нагнетаемых жидких отходов и от времени их распределения. Миграция жидких отходов продолжается после окончания их нагнетания в скважину. Не исключено, что ореол хранилища жидких отходов после консервации и ликвидации нагнетаемой скважины превысит границы горного отвода недр, и опасные компоненты жидких отходов попадут в пригодные к хозяйственному использованию водоносные горизонты верхней гидродинамической зоны. В целях исключения возможной миграции жидких отходов за границу горного отвода недр при ликвидации нагнетательной скважины необходимо предусмотреть меры по локализации участка загрязнений.

Ключевые слова

бурение скважин;
пласт-коллектор; локализация
загрязнений; жидкие отходы;
изолирующий экран

На основании анализа применяемых способов складирования жидких отходов установлено, что глубинное складирование в пласты-коллекторы является наиболее перспективным как с точки зрения безопасности экосистемы, так и возможности складирования жидких отходов всех классов опасности.

Особенное внимание после консервации и ликвидации нагнетаемой скважины необходимо уделять ограничению ореола хранилища. Для исключения миграции компонентов жидких отходов в пригодные к хозяйственному использованию водоносные горизонты верхней гидродинамической зоны предлагается стратегия локализации участка загрязнений путем создания изолирующих экранов.

The article presents the schemes of two fundamentally different ways of storing liquid waste. The technologies of large-tonnage production liquid waste storage are analyzed. The advantages and disadvantages of storage methods for liquid waste are identified. The limited suitable reservoirs number during deep storage in mandatory requirements terms for the absence of fresh water and isolation from them, the presence of regional waterproof tires (screens), which are low-permeable or permafrost, the presence of the necessary reservoir and the mining allotment boundaries, because when filling the reservoir, it is necessary to observe the restriction of the underground pollution distribution halo within the mining allotment boundaries. The actual sizes of underground pollution halos in reservoirs depend on the injected liquid waste volume and on the their distribution time. Liquid waste migration continues after the end of their injection into the well. It is possible that the halo of the liquid waste storage after conservation and liquidation of the injection well will exceed the boundaries of mining with drawal of the subsoil, and hazardous components of liquid waste will fall into aquifers of the upper hydrodynamic zone suitable for economic use. In order to eliminate the liquid waste possible migration beyond the boundaries of the subsoil mining allotment during the liquidation of an injection well, it is necessary to take measures to localize the contaminated area.

Based on the analysis of the liquid waste storage applied methods, it has been established that deep storage in reservoirs is the most promising both in terms of ecosystem safety and the possibility of storing liquid waste of all hazard classes.

Special attention after the conservation and liquidation of the injection well should be paid to the storage halo limitation. To exclude the liquid waste components migration into suitable for economic use aquifers of the upper hydrodynamic zone, a strategy is proposed for localizing the contaminated area by creating insulating screens.

Экологически опасные жидкие отходы — это, прежде всего, производственные сточные воды, загрязненные токсичными и ядовитыми соединениями (кислоты, щелочи, хлориды, фториды, бромиды и т.д.) [1].

В целях исключения негативного воздействия на окружающую природную среду применяются два принципиально разных способа складирования жидких отходов: приповерхностный и глубинный.

При приповерхностном складировании жидкие отходы изолируются в сооружения, размещаемые на поверхности земли с противифльтрационным экраном или без него (рисунки 1 и 2).

Преимущества:

- большое количество возможных мест складирования;
- относительно простое наблюдение за отходами.

Key words

well drilling; collector layer;
Эpollution localization; liquid waste;
insulating screen

Недостатки:

- постоянное воздействие на экосистему;
- высокая вероятность техногенной катастрофы;
- подходит только для жидких отходов IV и V классов опасности.

При глубинном складировании жидкие отходы изолируются в глубокозалегающие поглощающие горизонты (пласты-коллекторы), представленные пористыми осадочными породами (пески, песчаники, известняки или доломиты). Нагнетаемые жидкие отходы заполняют поровое пространство пласта-коллектора, вытесняют солоноватые и соленые воды, преимущественно гидрокарбонатно-хлоридно-натриевого состава (рассолы), и частично смешиваются с ними (рисунок 3). В результате в пласте-коллекторе образуется залежь жидких отходов, на границах недр

Рисунок 1. Схема приповерхностного складирования жидких отходов

Рисунок 2. Пример приповерхностного складирования жидких отходов бурения

P_b, P_z, P_{mk}, P_{ek} — контроль давления в буфере, затрубном, межколонном и заколонном пространствах

Рисунок 3. Схема глубинного складирования жидких отходов

которой располагается область смешения отходов и пластовых вод [2].

Преимущества:

- жидкие отходы расположены вне экосистемы;
- низкая вероятность техногенной катастрофы;
- возможность складирования жидких отходов с I по V класс опасности.

Недостатки:

- сложность наблюдения за отходами после закачки;
- ограниченное количество подходящих пластов-коллекторов.

Говоря об ограниченности количества подходящих пластов-коллекторов при глубинном

складировании, имеются ввиду обязательные требования в части отсутствия пресных вод и изоляции от них, наличие региональных водоупорных покрывок (экранов), представляющих собой слабопроницаемые породы (глины, каменную соль) или многолетнемерзлые породы, наличие необходимой вмещающей коллекторской емкости и соблюдение границ горного отвода недр [3].

Таким образом, при заполнении пласта-коллектора необходимо соблюдать ограничение ореола распределения подземных загрязнений в пределах границы горного отвода недр.

По данным объектного мониторинга Научно-исследовательского института

атомных реакторов (НИИАР), фактические размеры ореолов подземных загрязнений в пластах-коллекторах зависят от объема нагнетаемых жидких отходов и от времени их распределения [4, 5]. Миграция жидких отходов продолжается после окончания их нагнетания в скважину. Не исключено, что ореол хранилища жидких отходов после консервации и ликвидации нагнетаемой скважины превысит границы горного отвода недр, и опасные компоненты жидких отходов попадут в пригод-

ные к хозяйственному использованию водоносные горизонты верхней гидродинамической зоны.

В целях исключения возможной миграции жидких отходов за границу горного отвода недр при ликвидации нагнетательной скважины можно предусмотреть меры по локализации участка загрязнений. Данные меры могут быть реализованы посредством создания противифльтрационных подземных экранов (изолирующих экранов) (рисунок 4).

Рисунок 4. Принцип нагнетания жидких отходов в пласт-коллектор и расположение изолирующих экранов

Технология создания изолирующих экранов включает в себя бурение специальных скважин на границе максимального распространения отходов, если за пределами горного отвода недр существует участок возможной миграции компонентов жидких отходов в пригодные к хозяйственному использованию водоносные горизонты верхней гидродинамической зоны и нагнетание изолирующего состава [6, 7].

В качестве изолирующего экрана при строительстве могут быть рассмотрены полимерные, полимерглинистые, глинистые, полимерцементные или цементные растворы.

Так как при нагнетании изолирующего раствора существует вероятность возникновения глинистых корок, которые способствуют заполнению каналов порового пространства

горных пород и, как следствие, снижению объема изолирующего экрана в зоне нагнетания, необходимо предусмотреть меры по равномерному распределению раствора в законное пространство специальной скважины и обеспечению ее герметичности. Такими мерами могут являться предварительные работы в зоне нагнетания жидких отходов, такие как струйная обработка стенок или струйно-волновая кольматация.

До строительства специальной скважины и нагнетания изоляционного раствора необходимо также изучить геолого-физические и фильтрационные характеристики пород локализуемого участка, рассчитать технологические параметры процесса строительства изоляционных экранов.

Применение изолирующих экранов при ликвидации нагнетательных скважин будет актуально при складировании жидких отходов атомной, химической, нефтеперерабатывающей, нефтегазодобывающей и металлургической промышленности.

Выводы

На основании анализа применяемых способов складирования жидких отходов установлено, что глубинное складирование в пласты-коллекторы является наиболее перспективным как с точки зрения безопасности

экосистемы, так и возможности складирования жидких отходов всех классов опасности.

Особенное внимание после консервации и ликвидации нагнетаемой скважины необходимо уделять ограничению ореола хранения жидких отходов в пригодные к хозяйственному использованию водоносные горизонты верхней гидродинамической зоны предлагается стратегия локализации участка загрязнений путем создания изолирующих экранов.

СПИСОК ИСПОЛЪЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Методические рекомендации по обоснованию выбора участков недр для целей, не связанных с добычей полезных ископаемых / Разработаны Федеральным государственным учреждением «Государственной комиссией по запасам полезных ископаемых» (ФГУ «ГКЗ»), рекомендованы к использованию протоколом Минприроды России от 3 апреля 2007 г. № 11-17/0044-пр.

2. Грабовников В.А., Боровский Б.В. Подземное захоронение жидких отходов — успехи, проблемы, перспективы // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2011. № 6. С. 512–523.

3. Рыбальченко А.И., Пименов М.К., Костин П.П. Глубинное захоронение жидких радиоактивных отходов. М.: ИздАТ, 1994. 256 с.

4. Зильберштейн Б.М., Егоров Н.Н. О системе мониторинга геологической среды на полигонах подземного захоронения жидких промышленных отходов // Разведка и охрана недр. 2008. № 10. С. 25–30.

5. Хаустов А.П., Редина М.М. Охрана окружающей среды при добыче нефти. М.: Дело, 2006. 552 с.

6. Технология бурения нефтяных и газовых скважин: учебник для студентов вузов: в 5 т. / Под общ. ред. В.П. Овчинникова. Тюмень, 2017. Т. 2: 577 с.

7. Технология бурения нефтяных и газовых скважин: учебник для студентов вузов: в 5 т. / Под общ. ред. В.П. Овчинникова. Тюмень, 2017. Т. 4: 554 с.

REFERENCES

1. *Metodicheskie rekomendatsii po obosnovaniyu vybora uchastkov neдр dlya tselei, ne svyazannykh s dobychei poleznykh iskopaemykh / Razrabotany Federal'nyy gosudarstvennyy uchrezhdeniem «Gosudarstvennoy komissiei po zapasam poleznykh iskopaemykh» (FGU «GKZ»), rekomendovany k ispol'zovaniyu protokolom Minprirody Rossii ot 3 aprelya 2007 g. № 11-17/0044-pr.* [Guidelines for Justifying the Selection of Subsoil Plots for

Purposes not Related to Mining. Developed by the Federal State Institution «State Commission on Mineral Reserves» (FGU «GKZ»), Recommended for Use by the Protocol of the Ministry of Natural Resources of Russia dated April 3, 2007. No. 11–17 / 0044-pr.]. [in Russian].

2. Grabovnikov V.A., Borevskii B.V. Podzemnoe zakhoroneniye zhidkikh otkhodov — uspekhi, problemy, perspektivy [Subsurface Disposal of Liquid Wastes: Achievements, Problems, and Prospects]. *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya. Gidrogeologiya. Geokriologiya — Environmental Geoscience*, 2011, No. 6, pp. 512–523. [in Russian].

3. Rybal'chenko A.I., Pimenov M.K., Kostin P.P. *Glubinnoye zakhoroneniye zhidkikh radioaktivnykh otkhodov* [Deep Burial of Liquid Radioactive Waste]. Moscow, IzdAT Publ., 1994. 256 p. [in Russian].

4. Zil'bershtein B.M., Egorov N.N. O sisteme monitoringa geologicheskoy sredy na poligonakh podzemnogo zakhoroneniya zhidkikh promyshlennykh otkhodov [Monitoring System of the Geological Environment at the Injection Disposal Sites for Liquid Industrial Waste]. *Razvedka i okhrana neдр — Prospect and Protection of Mineral Resources*, 2008, No. 10, pp. 25–30. [in Russian].

5. Khaustov A.P., Redina M.M. *Okhrana okruzhayushchei sredy pri dobyche nefi* [Environmental Protection in Oil Production]. Moscow, Delo Publ., 2006. 552 p. [in Russian].

6. *Tekhnologiya bureniya neftyanykh i gazovykh skvazhin: uchebnyk dlya studentov vuzov: v 5 t. Pod obshch. red. V.P. Ovchinnikova* [Oil and Gas Wells Drilling Technology: a Textbook for University Students: in 5 vol. Ed. by V.P. Ovchinnikov]. Tyumen', 2017. Vol. 2: 577 p. [in Russian].

7. *Tekhnologiya bureniya neftyanykh i gazovykh skvazhin: uchebnyk dlya studentov vuzov: v 5 t. Pod obshch. red. V.P. Ovchinnikova* [Oil and Gas Wells Drilling Technology: a Textbook for University Students: in 5 vol. Ed. by V.P. Ovchinnikov]. Tyumen', 2017. Vol. 4: 554 p. [in Russian].

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ ABOUT THE AUTHORS

Кузнецов Юрий Степанович, д-р техн. наук, профессор, заместитель директора по научной работе Научного центра нелинейной волновой механики и технологии РАН, Институт машиноведения им. А.А. Благодатова РАН, г. Москва, Российская Федерация

Yuriy S. Kuznetsov, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Deputy Director of Research Center for Nonlinear Wave Mechanics and Technology of the Russian Academy of Sciences, Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

e-mail: info@imash.ru

Чапля Богдан Юрьевич, консультант отдела, Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору, аспирант Института машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, г. Москва, Российская Федерация

Bogdan Yu. Chaplia, Department Consultant, Federal Environmental, Industrial and Nuclear Supervision Service of Russia, Post-graduate Student of Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

e-mail: b.chaplya@gmail.com

Хафизов Айрат Римович, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Бурение нефтяных и газовых скважин», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Airat R. Khafizov, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of Oil and Gas Drilling Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: hafizov57@mail.ru

Шульгина Анна Павловна, аспирант Института машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, г. Москва, Российская Федерация

Anna P. Shulgina, Post-graduate Student of Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

e-mail: orin.home@yandex.ru