

## ПРОБЛЕМЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПЛАСТОВОЙ ВОДЫ ПРИБУГСКОГО ПОДЗЕМНОГО ХРАНИЛИЩА ГАЗА И ЭКОЛОГИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПРОЦЕССА ЕЁ ОЧИСТКИ

**Введение.** Объектом исследования являлись загрязненные пластовые воды Прибугского подземного хранилища газа в Брестской области. Авторами разработаны технологические рекомендации по очистке пластовой воды, загрязненной диэтиленгликолем, этанолом, этилмеркаптаном и нефтепродуктами с целью возврата очищенной воды в пласт.

Подземные хранилища газа (ПХГ) являются сложной системой, функционирование которой обуславливается воздействием внешних и внутренних факторов, которые, безусловно, оказывают определенное техногенное влияние на объекты природной среды на протяжении всего периода эксплуатации хранилищ.

Технологические и геоэкологические проблемы функционирования подземных хранилищ газа весьма многообразны, что требует проведения регулярного мониторинга для обеспечения экологической безопасности. В связи с этим весьма актуальными являются вопросы рационального природопользования и повышения уровня экологической безопасности технологических процессов при всем сроке эксплуатации ПХГ.

Прибугское ПХГ представляет собой сложный промышленный объект, с соответствующими наземными и подземными сооружениями, системой распределительных газопроводов. Газ хранится в пористом песчаном пласте, содержащем воду, в пределах геологической структуры (пласте-коллекторе), аналогичной природному месторождению газа. Пласты-коллекторы состоят из цементированного песка (песчаника) и по своей структуре напоминают жесткую губку, свободное пространство которых (поры) заполнено водой. На Прибугском ПХГ пласт-коллектор имеет пористость до 20%, т. е. его пятая часть по объему может быть занята подземными водами или газом.

Газогеохимические параметры пластовых вод в районе эксплуатации Прибугского ПХГ, химический и газовый состав грунтовых и поверхностных вод прилегающего к хранилищу района, динамика изменения химического и газового состава поверхностных и подземных вод при многолетней эксплуатации ПХГ, а также перспективы дальнейшего развития и практического использования полученных результатов подробно описаны в работах [1, 2]. В этих же работах указывается, что масштабы загрязнения природных вод в пределах ПХГ за счет поверхностного источника не велики и не представляют угрозы для систем жизнеобеспечения в регионе. Однако это не относится к технологическим авариям (разливы нефтепродуктов, ГСМ, этанола, повреждение технологических линий и др.), последствия которых могут быть тяжелы для природных комплексов, сельскохозяйственных угодий и населения Брестской области. Последствия постоянного загрязнения пластовой воды достаточно не изучены и могут представлять существенную опасность.

**Методика эксперимента.** В течение нескольких лет на кафедре инженерной экологии и химии УО «Брестский государственный технический университет» проводилась научно-исследовательская работа в рамках хозяйственного договора с УП «Бресткоммунпроект». В соответствии с техническим заданием Заказчика требовалось разработать рекомендации по использованию необходимого оборудования для анализа и контроля содержания ДЭГ, этанола, этилмеркаптана и нефтепродуктов в пластовой воде и рекомендации по технологии очистки загрязненной пластовой воды Прибугского ПХГ этими соединениями с целью возврата очищенной воды в пласт. Данная работа являлась крайне важной для сохранения экологиче-

ского баланса в Брестском регионе и недопущению попадания вредных загрязняющих веществ в окружающую среду.

Водным ресурсам присуща динамика, а их комплексное и рациональное использование невозможно без прогноза колебаний и изменений во времени. Характер колебаний водных ресурсов определяется климатическими факторами, но, начиная со второй половины XX века, роль антропогенной составляющей в ряде случаев становилась соизмеримой с природными воздействиями. Это не могло не сказаться на факторах формирования стоков малых рек, их гидрологическом режиме и гидроэкологическом состоянии. Кроме того, воздействием антропогенных факторов на водный режим рек имеет как разнонаправленный характер, что компенсирует влияние, так и односторонний, что, в свою очередь, усиливает трансформацию водного режима. В настоящее время Республика Беларусь не испытывает острого дефицита в воде, аналогичная картина сохранится и на обозримую перспективу. Однако проблема качества поверхностных вод уже в настоящее время дает о себе знать. Под воздействием природных и антропогенных факторов произошли изменения гидрохимического режима рек Беларуси и зачастую не в лучшую сторону. Этот процесс, по мере роста промышленного производства, городов и интенсификации сельского хозяйства, будет нарастать. Картина усугубляется тем, что почти все крупные реки Беларуси являются трансграничными и ухудшение качества поверхностных вод может не только негативно отразиться на состоянии окружающей среды, эффективности производства, создать проблему сохранения биоразнообразия, но и может стать причиной конфликтных ситуаций между государствами, расположенными в одном бассейне. Поэтому необходима современная оценка качества поверхностных вод и прогноз изменения гидрохимического режима рек.

Основной недостаток широко используемой на практике системы предельно-допустимых концентраций (ПДК) заключается в требовании к очистным сооружениям субъектов хозяйствования обеспечить концентрацию всех компонентов ниже допустимых. Эта задача теоретически выполнима, но требует значительных финансовых затрат.

Поэтому на практике большинство систем очистки воды ориентированы на те приоритетные компоненты состава, которые присущи природным водам в малозагрязненном состоянии.

Сточные воды промышленных предприятий и другие виды вод, содержащие различные загрязнители, подвергают, как правило, очистке различными способами: механической, химической, физико-химической и биохимической. Химическая очистка заключается в выделении из сточных вод загрязнений путем проведения реакций между ними и вводимыми в воду реагентами. Такими реакциями являются реакции окисления и восстановления, реакции образования соединений, выпадающих в осадок, и реакции, сопровождающиеся газовыделением. Химическая очистка применяется для очистки только некоторых производственных сточных вод. Механохимическую очистку применяют для выделения из сточных вод нерастворенных загрязнений. Сущность ее состоит в том, что в воду добавляют коагулянты, которые способствуют удалению из нее загрязнений в процессе ее механической очистки. К физико-химическим методам очистки сточных вод относятся сорбция, экстракция, коагуляция, флотация, электролиз, ионный обмен, кристаллизация и др. Биохимическая (биологическая) очистка заключается в окислении остающихся в воде после механической очистки органических за-

*Тур Элина Аркадьевна, к. т. н., доцент, заведующая кафедрой инженерной экологии и химии Брестского государственного технического университета.*

*Басов Сергей Владимирович, к. т. н., доцент, доцент кафедры инженерной экологии и химии Брестского государственного технического университета.*

*Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.*

грязней с помощью микроорганизмов, способных в процессе своей жизнедеятельности осуществлять минерализацию органических веществ [3, 4].

Результаты лабораторных испытаний образцов загрязненной пластовой воды Прибугского ПХГ на кафедре ИЭиХ, в Брестской областной лаборатории аналитического контроля и в химической лаборатории Прибугского ПХГ (три параллельных независимых эксперимента) показали практически равнозначные результаты. Исследования проводили стандартными методами [3, 5, 6, 7, 8].

Максимальное содержание различных загрязняющих веществ в образцах пластовых вод, в том числе: нефтерпродукты – до 82 мг/дм<sup>3</sup>; этанол – до 10 об.%; этилмеркаптан – до 1 об.%; диэтиленгликоль (ДЭГ) – до 2 об.%. Анализ результатов лабораторных испытаний однозначно указывает на необходимость проведения комплекса мероприятий по очистке пластовых вод от указанных загрязняющих веществ.

Эта задача может быть решена путем совершенствования гидрофильных и гидрофобных фильтров и гидрозатворов, а также путем применения гидродинамических автофлотационных аппаратов и применением необходимых сорбентов [3, 9].

Разделение пластовой воды, содержащей нефтепродукты и водорастворимые органические соединения, может включать перемещение транспортируемого потока в ламинарном режиме, разделение его на пучок потоков и, после расслоения каждого потока в пучке на фазы, слияние их в общий поток. Транспортируемый поток последовательно перемещается в горизонтальном и наклонном направлениях. На наклонном направлении потоки в пучке перемещают параллельно встречному, можно барботировать поток пузырьками газа с химическим составом, идентичным отслоенной газовой фазе, что позволяет избежать ненужных химических реакций. Нефтепродукты и вода при перемещении по трубопроводу успевают разделиться, причем вода по наклонной части скатывается вниз и в этой зоне производят её отбор, нефтепродукты же отбирают из горизонтальной части трубопровода. Таким образом, смесь проходит две ступени очистки – на горизонтальном и на наклонном участке трубопровода. При необходимости каждый участок очистки можно повторять необходимое число раз [3, 10].

Предварительно очищенная от нефтепродуктов исходная пластовая вода содержит определенное количество загрязнителей в виде остатков нефтепродуктов, которые удаляются на последующих стадиях, одной из которых является очистка на контактном осветлителе.

Основным рабочим материалом использованного контактного осветлителя является гравийная загрузка, расположенная в контактном осветлителе, позволяющим в оптимальном режиме осуществлять очистку при условии максимального времени фильтроцикла. Периодически, по результатам анализа очищенной воды, необходимо проводить промывку контактного осветлителя для обеспечения наиболее эффективной его работы.

Эффективное удаление из пластовых вод диэтиленгликоля (ДЭГ) сопряжено с большими трудностями, связанными с его высокой химической устойчивостью, хорошей растворимостью и высокой концентрацией в стоке. Известно [11], что сильные окислители (хлор, озон) позволяют эффективно удалять органические вещества из природных и сточных вод. Исследование возможности применения этих окислителей для разложения ДЭГ в водных растворах показало, что в концентрированных растворах после озонирования содержание ДЭГ практически не изменяется.

При озонировании разбавленных растворов (2 г/л) максимальное снижение концентрации ДЭГ составило 13%. При этом температура раствора не влияла на эффективность процесса. Окисление раствора ДЭГ газообразным хлором практически не происходит.

Имеются сведения о возможности использования некоторых природных сорбентов или полупродуктов для очистки стоков от органических компонентов, например, удаление ДЭГ из водных растворов при помощи синтетических органических сорбентов, таких как поликонденсационные ионообменные смолы, содержащие низкоосновные функциональные аминогруппы и полимеризационный анионообменник с четвертичными аммонийными группами, а также сла-

бокислый макропористый катионообменник, имеющий карбоксильные обменные группы [3, 10].

Полученные в лаборатории данные показали, что сорбционная емкость ионообменников по ДЭГ низка и мало зависит от типа функциональных групп. Вероятно, при взаимодействии озона с ДЭГ образуются продукты деструкции, обладающие более высокой сорбируемостью (например, органические кислоты), поэтому позже было изучено влияние озонирования на эффективность удаления ДЭГ из воды ионообменными сорбентами. Результаты экспериментов показали, что увеличение сорбируемости ДЭГ не наблюдается, однако другие водорастворимые органические вещества окисляются озоном до легко удаляемых примесей.

Результаты исследований по эффективности удаления ДЭГ ионообменными сорбентами представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Эффективность удаления ДЭГ ионообменными сорбентами

Тип ионита	Концентрация компонентов в растворе, %	Сорбционная емкость, мг/мл	Максимальная эффективность удаления ДЭГ, %
АВ-17-8 (ОН-ф.)	2,5 ДЭГ + 2,5 NaCl	0,3	12,0
АВ-31 (ОН-ф.)	2,5 ДЭГ + 2,5 NaCl	0,96	38,0
КБ-4П-2 (Na <sup>+</sup> -ф.)	2,5 ДЭГ + 2,5 NaCl	0,70	31,0
КБ-4П-2 (Na <sup>+</sup> -ф.)	1 г/л ДЭГ	0,63	29,0
АНКБ-10 (Cl <sup>-</sup> -ф.)	1 г/л ДЭГ	0,55	23,0
АНКБ-31 (Cl <sup>-</sup> -ф.)	1 г/л ДЭГ	0,89	23,0

Применение органических сорбентов, имеющих гелевую и пористую макроструктуру, для удаления ДЭГ в промышленных условиях нецелесообразно. Сорбция ДЭГ происходит, вероятно, молекулярно за счет Ван-дер-ваальсовых сил, поэтому можно было предположить, что активные угли будут эффективно извлекать его из воды [3].

Для удаления ДЭГ из растворов были использованы активные угли БАУ, СКТ и АГ-3. Предварительными экспериментами было установлено, что для сорбции ДЭГ лучшими являются угли марки БАУ и СКТ. Для проверки предположений было проведено исследование сорбции угля СКТ при различных концентрациях ДЭГ. Результаты исследований приведены в таблице 2.

Анализируя полученные результаты (таблица 2), следует отметить, что сорбционная емкость угля от цикла к циклу падает ввиду того, что температура пара низка. Для более полной регенерации необходимо пар перегреть до температуры, близкой к температуре кипения ДЭГ. Однако, сорбционная емкость угля примерно на порядок выше емкости других сорбентов, поэтому активированный уголь можно считать более перспективным сорбентом для ДЭГ.

Высокая гидрофильность ДЭГ и небольшая разница адсорбционных потенциалов молекул воды и диэтиленгликоля делает практически невозможным полное выделение ДЭГ из водного раствора. Удержание происходит за счет проникновения его совместно с молекулами воды в микропоры сорбента. Поэтому наиболее эффективными сорбентами должны быть угли с высоким содержанием микропор [9]. К таковым относятся уголь СКТ, изготовленный на основе торфа.

Регенерация сорбента от поглощенного ДЭГ происходит в результате его химического окисления, наступающего после практически полного удаления молекул воды. Поэтому целесообразно было использовать для очистки сорбента либо нагретый воздух с температурой 150-300°С, либо топочные газы с пониженным содержанием кислорода. Исследование сорбционных свойств углей показало, что сорбционная емкость СКТ в 20-30 раз превышает емкость других исследованных сорбентов. Изучение динамических характеристик сорбента и динамической полной сорбционной емкости показало, что эти характеристики во многом определяются концентрацией ДЭГ в исходном растворе и скоростью фильтрации.

**Заключение.** Таким образом, экологический аспект технологии очистки загрязненной пластовой воды Прибугского подземного хранилища газа должен, на наш взгляд, учитывать следующие рекомендации:

Таблица 2 – Сорбционная емкость угля БАУ по ДЭГ, рассчитанная по сорбции и регенерации

№ цикла	Концентрация исходного раствора ДЭГ, %	Колонка 1		Колонка 2	
		сорбция	регенерация паром	сорбция	регенерация паром
		емкость, мг/мл		емкость, мг/мл	
1	0,55	6,7	10,1	6,54	8,18
2	0,137	4,64	5,1	4,0	3,92
3	0,102	2,5	–	–	–

- разделение стоков, содержащих нефтепродукты и водорастворимые органические вещества;
- перемещение транспортируемого потока, содержащего нефтепродукты и водорастворимые органические вещества, в ламинарном режиме, разделение его на пучок потоков и, после расслоения каждого потока в пучке на фазы, слияние их в общий поток;
- использование гравийного контактного осветлителя для доочистки от нефтепродуктов;
- окисление водорастворимых органических соединений (спиртов и этилмеркаптана) озоном;
- сорбция ДЭГ на углях с высоким содержанием микропор (к такому можно отнести уголь СКТ, изготовленный на основе торфа). Прошедшие очистку таким образом пластиковые воды могут быть возвращены в пласт, после проведения мониторинга по достигнутому качеству.

## СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Левашкевич, В. Г. Изучение газеохимических параметров пластовых вод в районе эксплуатации Прибугского ПХГ / В. Г. Левашкевич, В. И. Сухачев, Н. А. Криштопа // Актуальные проблемы природопользования Брестской области / А.А.Волчек [и др.]. – Минск : Беларус. навука. – 2009. – С. 220–262.
2. Тур, Э. А. Экологический аспект технологии очистки загрязнённой пластовой воды Прибугского подземного хранилища газа / Э. А. Тур, С. В. Басов, Н. М. Голуб // Актуальные научно-технические и экологические проблемы сохранения среды обитания: сб. материалов Междунар.научн.-практ.конф., Брест, 25–27 сентября 2013 г. / Под ред. А. А. Волчека [и др.]. – Брест: Изд-во БрГТУ, 2013. – С. 236–239.
3. Кульский, Л. А. Технология очистки природных вод / Л. А. Кульский, П. П. Строкач. – К. : Вища шк. Головное изд-во. – 1986. – 352 с.
4. Тур, Э. А. Проблемы очистки сточных вод, образующихся на стадии замачивания зерна при производстве солода, и пути их решения / Э. А. Тур, Н. В. Левчук, С. В. Басов // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2018. – № 2 : Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – С. 117–122.
5. Фомин, Т. С. Вода. Контроль химической, бактериальной и радиационной безопасности по международным стандартам. – М. : Протектор, 1995. – 624 с.
6. Унифицированные методы исследования качества вод. – Часть 1. Методы химического анализа. – М. : СЭВ, 1987. – С. 550.
7. Лейте, В. Определение органических загрязнений питьевых, природных и сточных вод. – М. : Химия, 1975. – 200 с.
8. Алексеев, Л. С. Контроль качества воды / Л. С. Алексеев. – М. : ВШ, 2004. – 153 с.
9. Химия промышленных сточных вод / Пер. с англ. – М. : Химия, 1983. – 360 с.
10. Комарова, Л. Ф. Инженерные методы защиты окружающей среды / Л. Ф. Комарова, Л. А. Кормина. – Барнаул : ГИПП Алтай, 2000. – 391 с.
11. Tokahashi, N. Kote eegu. Ind. Water. – 1983. – № 303. – P. 12–18.

Материал поступил в редакцию 06.02.2019

**TUR E. A., BASOV S. V. The problems of pollution of the reservoir water prybuz'ke underground gas storage and the greening of technology of purification**

The object of the study was contaminated reservoir water prybuz'ke underground gas storage facilities in the Brest region. Underground gas storage is a complex system, the functioning of which is caused by the influence of external and internal factors and which have a certain anthropogenic impact on the objects of the natural environment throughout the period of operation of storage facilities. The authors developed technological recommendations for the treatment of formation water contaminated with diethylene glycol, ethanol, ethylmercaptan and petroleum products in order to return the treated water to the formation.

УДК 628.355

**Левкевич В. Е., Лосицкий В. А.**

## ОБОСНОВАНИЕ СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ГОРОДСКИХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

**Введение.** Проблема очистки сточных вод и подготовки воды для технических и хозяйственно-питьевых целей с каждым годом приобретает все большее значение.

В Беларуси комплексы очистных сооружений созданы и функционируют не только в крупных городах и областных центрах, но и в более мелких городах, и даже на крупных заводах и предприятиях [1].

Одним из наиболее распространенных методов очистки воды является биологическая очистка. В Республике Беларусь широкое распространение в качестве сооружений по биологической очистке получили биологические пруды и поля орошения и фильтрации. Применение этого метода с начала нашего века показало, что этот

способ наиболее доступен, по сравнению с физико-химическим или биологическим в искусственных условиях и т. п. Простота эксплуатации, низкие эксплуатационные затраты, надежность сделали этот способ очистки сточных вод наиболее распространенным [2].

Большинство указанных объектов эксплуатируются значительный период отрезок времени, а с учетом того, что срок их эксплуатации в соответствии с классом капитальности сооружений не должен превышать пятидесятилетний рубеж, оценка состояния объектов потенциальной опасности требует наличия объективной информации о техническом состоянии упомянутых сооружений и инженерных систем. Такую информацию возможно получить лишь путем созда-

**Лосицкий Владислав Андреевич**, преподаватель кафедры «Строительство и эксплуатация зданий и сооружений» факультета строительства и недвижимости филиала БНТУ «Межотраслевой институт повышения квалификации и переподготовки кадров по менеджменту и развитию персонала БНТУ», e-mail : losickiy1993@gmail.com.  
Беларусь, 220014, г. Минск, ул. Минаева 23, корп. 2.