

УДК 504.062.2

**Е.В. Калинина, Л.В. Рудакова,  
М.С. Дьяков, Н.Е. Коробова**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦИАЛА ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ СООРУЖЕНИЙ ПО ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД ПРЕДПРИЯТИЙ ХИМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ г. БЕРЕЗНИКИ**

При эксплуатации сооружений по доочистке сточных вод предприятий химической отрасли г. Березники формируются донные отложения. В настоящий момент объем накопленных донных отложений не позволяет осуществлять нормальную эксплуатацию сооружений. Выполнены исследования по определению условий формирования донных отложений и их физико-химических характеристик. На основании полученных данных рекомендованы способы очистки дна сооружений от донных отложений, способы обезвоживания донных отложений и направления использования их ресурсного потенциала.

**Ключевые слова:** Промышленный канал (ПК), донные отложения, очистка дна, обезвоживание, загрязнение, контейнер Geotube.

Сточные воды промышленных предприятий г. Березники после предварительной очистки механическими, физико-химическими и биологическими методами направляются для совместной доочистки в Промышленный канал (ПК), далее в ковшотстойник ПК, перекачиваются и поступают через рассеивающий выпуск в р. Каму.

В Промышленный канал поступают сточные воды 15 хозяйствующих субъектов, осуществляющих санкционированное водопользование на основании договорных отношений, ливневые сточные воды с водосборных площадей, а также фильтрационные воды Камского водохранилища. Усредненное содержание загрязняющих веществ, поступающих в ПК от официальных абонентов, представлено в табл. 1.

Анализ данных о содержании загрязняющих веществ в сточных водах, поступающих в ПК и сбрасываемых в р. Каму, позволил определить степени очистки воды по показателям:

взвешенные вещества – 82,70 %; ионы кальция – 70,0 %; сухой остаток – 58,3 %. Результатами аналитических исследований подтверждена эффективность очистки сточных вод от взвешенных веществ и ионных примесей, способных при взаимодействии образовывать труднорастворимые соединения [1].

Таблица 1

**Содержание загрязняющих веществ,  
поступающих в Промышленный канал**

Показатель	Содержание, мг/дм <sup>3</sup>	Показатель	Содержание, мг/дм <sup>3</sup>
Амины	0,000713–0,0023	Никель	0,0164–0,0185
Аммонийный ион	12,97–13,73	Нитраты	52,54–58,94
Анилин	0,0001–0,000144	Нитриты	0,3967–0,7230
БПК полное	1,161–2,395	СПАВ	0,028–0,035
Ванадий	0,00053–0,0006	Сульфаты	149,48–162,93
Взвеш. вещества	158,45–255,43	Сульфиты	0,021–0,096
Железо общее	0,2626–0,2646	Сухой остаток	10623,4–12915,92
Калий	625,942–721,1	Тиосульфаты	0,0115–0,09
Кальций	1327,56–1830,87	Титан	0,00022–0,0006
Карбамид	5,5896–10,3357	Фенол	0,000144–0,0004
Магний	22,498–23,876	Фосфаты	0,7595–1,0414
Марганец	0,00588–0,0818	Хлориды	6026,56–7328,66
Медь	0,0018–0,0025	ХПК	25,57–40,50
Моноэтаноламин	0,0585–0,0593	Хром (+3)	0,0023–0,0049
Натрий	2076,21–2313,66	Хром (+6)	0,00017–0,0029
Нефтепродукты	0,163–0,164	Цинк	0,0019–0,0036

Полученная информация позволила определить условия формирования объема и состава донных отложений (ДО), накапливаемых в отстойнике. В 2008 г. в русле канала произошло осаждение 9540,6 т взвешенных веществ; в результате протекания химических реакций было дополнительно образовано 438 872 т отложений (по сухому остатку), в 2009 г. – 13 999,4 т взвешенных веществ и 246 818,1 т/год отложений, образованных при химическом взаимодействии компонентов сточных вод [2].

Анализ изменения массы взвешенных веществ и минеральных примесей в процессе транспортировки сточных вод к сбросу в р. Каму за 2006–2009 гг. позволил установить, что основная масса донных отложений в ПК и ковше-отстойнике формируется в результате химических превращений компонентов сточных вод.

Донные отложения представляют собой высоковлажную массу и имеют разную структуру: верхний слой на глубине 0,5–0,9 м представляет собой мелкодисперсные плохо осаждаемые отложения; нижний слой – слежавшиеся отложения с более высокой минерализацией.

По результатам физико-химических исследований определены характеристики донных отложений русла канала и ковша-отстойника (табл. 2). Основная часть ДО канала транспортировки и ковша-отстойника минерализована (54–95 %), что обуславливает низкое значение показателей ХПК и БПК водной вытяжки.

Таблица 2

### Физико-химические характеристики донных отложений

Показатель	Значение показателя	
	Канал транспортировки	Ковш-отстойник
Влажность, %	99,2–99,9	99,2–99,9
pH водной вытяжки	8,1–8,3	8,1–8,3
ХПК водной вытяжки (1:1), мг/л	28,4	28,4
БПК водной вытяжки (1:1), мгО <sub>2</sub> /л	7,1	7,1
Массовая доля органических веществ, % *	5,17–45,9	38,7–41,4
Массовая доля золы, % *	54,1–94,83	58,6–61,3
Нефтепродукты, мг/кг *	50–4419	627–930
Карбонаты, мг/кг*	51680–458590	386750–412880
Алюминия оксид Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , мг/кг *	17756–109291	16358–18624
Железа оксид Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , мг/кг *	18343–29186	11314–30129
Калия оксид K <sub>2</sub> O, мг/кг *	3314–23114	4804–7568
Кальция оксид CaO, мг/кг *	17850–348516	346808–372680
Кремния оксид SiO <sub>2</sub> , мг/кг*	54064–723771	93921–125764
Магния оксид MgO, мг/кг *	10333–26200	4717–23683
Марганца оксид MnO <sub>2</sub> , мг/кг *	411–3100	1186–3100
Натрия оксид Na <sub>2</sub> O, мг/кг *	21700–46810	37564–57606
Титана оксид TiO <sub>2</sub> , мг/кг *	1933–7500	1300–4850
Фосфора оксид P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/кг *	115–344	160–1924
Серы оксид SO <sub>3</sub> , мг/кг *	2300–6600	11700–20100

\* На сухое вещество.

Основными опасными веществами ДО являются металлы и полуметаллы, обладающие токсичными свойствами. Экспериментальными исследованиями определено валовое содержание металлов в ДО канала транспортировки и ковша-отстойника.

Содержание металлов в ДО и нормативы их предельно допустимого содержания в суглинистых и глинистых почвах [3, 4] представлены в табл. 3. Содержание ртути, хрома, сурьмы и мышьяка превышает установленные нормативы, но основная их часть находится в связанном состоянии и не переходит в водную вытяжку.

Таблица 3

**Содержание металлов в донных отложениях (мг/кг)**

Показатель	Величина ПДК с учетом фона	Канал транспортировки	Ковш-отстойник
Ванадий	150,0	22,27–64,82	14,04–77,7
Кадмий	2,0	0,05–0,205	0,05–0,354
Медь	132,0	22,67–74,9	17,0–88,0
Мышьяк (III)	10,0	3,292–18,04	22,48–31,4
Никель	80,0	11,41–23,7	8,055–17,65
Ртуть	2,1	0,076–0,37	0,029–2,39
Свинец (III)	32,0	7,99–15,79	10,9–19,95
Сурьма	4,5	1,314–6,445	2,522–21,32
Хром (VI)	0,05	52,94–533,9	95,61–608,2
Цинк	220,0	18,88–39,73	32,5–83,0

В настоящее время дно канала транспортировки и ковша-отстойника заполнено донными отложениями. При глубине сооружений 2,5–4,0 м глубина донных отложений составляет 2,0–2,5 м, объем накопленных донных отложений составляет около 120 523 м<sup>3</sup>. Для дальнейшей нормальной эксплуатации Промканала г. Березники необходимо очистить дно канала транспортировки и ковша-отстойника от донных отложений.

Обращение с донными отложениями канала транспортировки и ковша-отстойника Промканала заключается в их выемке из канала транспортировки и ковша-отстойника; складировании и обезвоживании на площадке временного хранения; захоронении или дальнейшем использовании в народном хозяйстве. Использование донных отложений в народном хозяйстве более предпочтительно.

Сотрудниками Пермского политехнического университета предложена технология очистки дна канала транспортировки и ковша-отстойника от высоковлажных донных отложений и способы их обезвоживания.

Очистку дна канала транспортировки и ковша-отстойника от ДО рекомендуется осуществлять гидромеханическим способом. Гидромеханическая разработка донных отложений позволяет достичь высокого уровня производительности труда, непрерывности подачи донных отложений, проводить очистку без осушительных и водопонижающих работ. Для производства работ гидромеханическим способом предложено использовать следующее оборудование:

- якорные землесосы с рефулированием грунта по напорному трубопроводу на подводный или береговой отвал,
- скреперные самоотвозные земснаряды.

После изъятия донные отложения размещаются на открытой площадке временного хранения. Площадка должна располагаться с подветренной стороны по отношению к жилой застройке; загорожена забором или сеткой-рабицей для предотвращения доступа посторонних лиц; иметь надписи, предупреждающие об опасности прохода на территорию площадки.

Для формирования площадки временного хранения проводятся следующие мероприятия:

- подготовка подъездной дороги шириной не менее 2,5 м;
- корчевание имеющихся кустарников и мелкоколесья;
- очистка площадки от растительно-корневого покрова (плодородный слой сдвигается в бурты, сохраняется и после завершения работ может быть возвращен на место);
- планирование ложа технологической площадки;
- обустройство обваловки площадки (для перехвата дождевых и паводковых вод);
- устройство водонепроницаемого покрытия – противофильтрационной защиты основания (противофильтрационный экран из геотекстиля, глинистое, асфальтовое или бетонное основание);
- разбивка площадки на карты намыва;
- устройство основных и резервных сбросных колодцев.

Площадка временного хранения донных отложений должна быть спланирована так, чтобы участок был защищен от подтопления поверхностными водами. С учетом местных особенностей технологическую площадку предложено устроить вдоль ПК с небольшим уклоном (2–4 %) в его сторону, для того чтобы поверхностный сток самотеком попадал в ПК.

Гидроизоляционный экран площадки временного хранения ДО рекомендуется выполнить путем отсыпки глины толщиной не менее 0,5 м и отсыпки слоя щебня толщиной 0,3 м, (рис. 1). Между слоем глины и щебня укладывается геотекстиль в один слой. Для сбора дренажных вод у нижней кромки площадки устраивается дренажная труба (рис. 2), которая проходит сквозь дамбу в дренажный колодец. Вода из дренажной трубы собирается в колодец, соединенный с приемным резервуаром. Дренажные воды, образующиеся на технологической площадке, собираются в основной или резервный сбросной колодец и сбрасываются обратно в ПК.

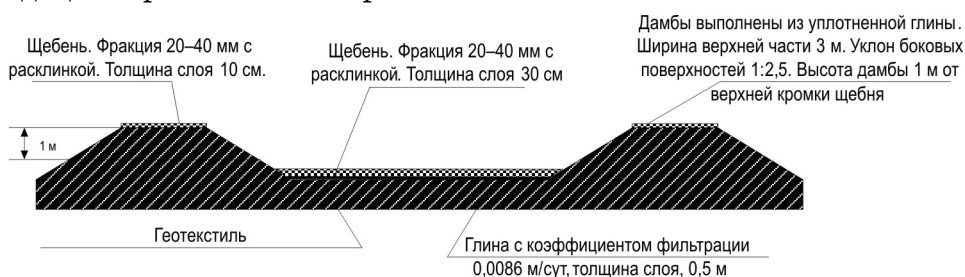


Рис. 1. Схема исполнения гидроизоляционного экрана площадки временного хранения донных отложений

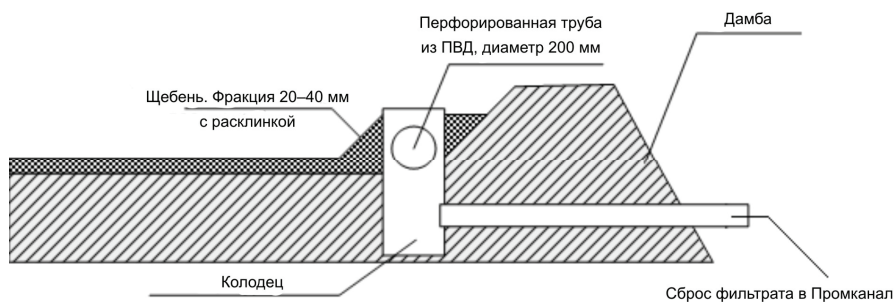


Рис. 2. Устройство дренажной системы

Механическое обезвоживание ДО может быть осуществлено следующими способами:

- механическое обезвоживание в естественных условиях на площадке временного хранения,
- центрифугирование,
- обезвоживание по технологии Geotube.

Для повышения эффективности обезвоживания донных отложений процесс осуществляют в присутствии флокулянта.

Обезвоживание ДО в естественных условиях на площадке временного хранения происходит за счет процессов интенсификации обезвоживания осадка в естественных условиях и увеличения водоотдачи после полного замораживания и оттаивания осадка. Подсушивание донных отложений на площадке временного хранения происходит через 1–3 года. Высота складирования донных отложений определяется глубиной промерзания в зимний период и составляет 1,6–2,0 м.

Размещение ДО на площадке рекомендуется осуществлять рабочими картами. Устройства для подачи ДО на карты должны обеспечивать равномерное их распределение. Для очистки карт от обезвоженного осадка надлежит предусматривать устройство подъездных дорог и пандусов для въезда бульдозера на площадки, сдвигания осадка в зону действия грузоподъемных механизмов.

Для многократного использования карт следует учитывать необходимость проведения восстановительных работ по планировке дна площадок, увеличению высоты оградительных дамб после очистки.

Обезвоживание ДО методом центрифугирования происходит за счет выделения из них твердой фазы под действием центробежных сил и позволяет снизить влажность до 80–86 %, массу и объем осадка. В климатических условиях Западного Урала обезвоживание центрифугированием возможно только в закрытых помещениях с мощной приточно-вытяжной вентиляцией.

Обезвоживание донных отложений по технологии Geotube предусматривает применение высокопрочного водонепроницаемого полипропиленового геотекстиля, сформированного в овальную «трубу» (контейнер). В основе процесса лежит гравиметрический дренаж под давлением слоя осадка. Специальное плетение и материалы геотекстиля создают поры, пропускающие воду только в одном направлении – наружу контейнера – и удерживающие внутри твердые частицы. Обезвоживание ДО по рассматриваемой технологии позволяет достичь конечной влажности 70–80 %. Донные отложения смешиваются в контактном резервуаре с предварительно приготовленным раствором флокулянтов и подаются через магистральный трубопровод подачи пульпы в контейнер. Подача ДО осуществляется до достижения максимальной высоты данного типоразмера контейнера. Максимальная водоотдача происходит в течение 10–14 сут. Реко-

мендуемое время процесса обезвоживания ДО 10–25 сут. Увеличение степени обезвоживания возможно в результате зимнего промораживания, для чего контейнер рекомендуется оставить на площадке в течение зимнего сезона. Извлечение обезвоженных ДО из контейнеров осуществляют через месяц после оттаивания. Схема размещения контейнеров Geotube на площадке временного хранения представлена на рис. 3.

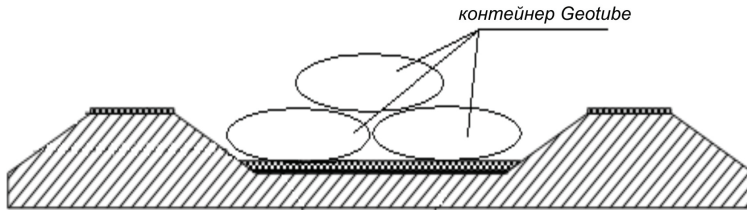


Рис. 3. Схема размещения контейнеров на площадке временного хранения

Реализация предложенных способов очистки дна канала транспортировки и ковша-отстойника от высоковлажных донных отложений и способов их обезвоживания позволят повысить эффективность работы Промканала г. Березники.

С учетом физико-химических, механических и токсикологических свойств обезвоженные донные отложения предложено использовать в качестве:

- изолирующего материала при строительстве и эксплуатации полигонов захоронения отходов (технический грунт);
- материала для рекультивации старых свалок и карьеров (рекультивационный грунт).

Для получения технического грунта обезвоженные ДО выдерживаются на площадке временного хранения в течение 2–3 месяцев теплого периода года (среднемесячная температура выше +5 °С). Технический грунт может быть использован как для промежуточной, так и для окончательной изоляции отходов на полигонах захоронения.

Физико-механические и физико-химические свойства технического грунта, используемого для промежуточной изоляции, должны соответствовать следующим требованиям:

рН.....	5,5–8,2
кратность разведения экстракта, действующая на гидробионты (не более), ед. ....	100
ХПК водной вытяжки (1:1).....	на уровне содержания в фильтрате



сумма фракций размером менее 0,01 мм, % ..... 10–75  
 влажность от предельной полевой влагоемкости  
 (не более), % ..... 85,0  
 удельная активность радионуклидов  
 (не более), Бк/кг ..... 300  
 влажность (не более), % ..... 60–85

Для получения рекультивационного грунта обезвоженные донные отложения выдерживаются на площадке временного хранения в течение 1 года, что обеспечит значения санитарно-гигиенических показателей требованиям, предъявляемым к чистой почве (табл. 4).

Таблица 4

**Нормативы биоагентов для чистой почвы [5]**

Вид показателя	Наименование показателя	Численные значения
Санитарно-бактериологические	Индекс БГКП	1–10 кл./г
	Индекс энтерококков	1–10 кл./г
	Патогенные энеробактерии, в т.ч. сальмонеллы	0 (в 25 г)
Санитарно-паразитологические	Яйца и личинки гельминтов	0 (в 1000 г)
	Цисты кишечных патогенных простейших	0 (в 25 г)
Санитарно-энтмологические	Личинки и куколки синантропных мух	0 (в 1000 г)

Содержание загрязняющих веществ в рекультивационном грунте должно быть на уровне ПДК почв, при этом материал должен обладать удобрительными свойствами (содержание биогенных элементов в пределах установленных нормативными документами) (табл. 5).

Таблица 5

**Физико-механические и физико-химические свойства рекультивационного грунта**

Показатель	Величина ПДК/ОДК с учетом фона	Показатель	Величина ПДК/ОДК с учетом фона
Влажность от предельной полевой влагоемкости (не более), % [6]	85	Марганец вал., мг/кг [8]	1500
pH	5,5–8,2	Мышьяк вал., мг/кг [8]	3

Окончание табл. 5

Показатель	Величина ПДК/ОДК с учетом фона	Показатель	Величина ПДК/ОДК с учетом фона
Органическое вещество, % [7]	40–55	Никель подвиж. форма, мг/кг [8]	4
Средняя плотность, т/м <sup>3</sup> [7]	0,5–0,85	Ртуть вал., мг/кг [8]	2,1
Азот общий, % [7]	0,8–1,3	Свинец вал., мг/кг [8]	32
Фосфор общий, % [7]	0,56–0,7	Хром (+6) вал., мг/кг [8]	0,05
Нефтепродукты, мг/кг [8]	20000	Хром (+3) подвиж. форма, мг/кг [8]	6
Кадмий (ОДК с учетом фона), мг/кг [8]	2	Цинк, подвиж. форма, мг/кг [8]	23
Медь подвиж. форма, мг/кг [8]	3		

Применение рекультивационного грунта должно осуществляться с учетом фоновых концентраций в почве нефтепродуктов и тяжелых металлов на рекультивируемой территории.

По результатам исследований, проведенных авторами, определено:

1. В Промышленном канале г. Березники осуществляется очистка сточных вод предприятий химической отрасли г. Березники, в результате которой образуются донные отложения.

2. Донные отложения представлены механическими примесями и труднорастворимыми соединениями, образующимися в процессе химического взаимодействия компонентов сточных вод.

3. Донные отложения характеризуются высокой влажностью, высокой степенью минерализации, увеличивающейся с увеличением глубины залегания отложений.

4. Основными опасными веществами донных отложений являются металлы и полуметаллы, обладающие токсичными свойствами, при этом их содержание не превышает предельно допустимые нормативы их содержания в суглинистых и глинистых почвах (кроме хрома и мышьяка).

5. В настоящее время дно канала транспортировки и ковша-отстойника заполнено донными отложениями, что обуславливает необходимость их удаления.

6. Очистку дна канала транспортировки и ковша-отстойника от донных отложений рекомендуется осуществлять гидромеханическим способом, а изъятые донные отложения размещать

на открытой площадке временного хранения. Для обеспечения экологической безопасности площадки временного хранения предложены требования к выбору участка и требования к его обустройству.

7. Донные отложения предлагается обезвоживать в естественных условиях, на открытых площадках при высоте складирования 1,6–2,0 м в течение 1–3 лет.

8. Обезвоженные донные отложения обладают существенным ресурсным потенциалом и могут быть использованы в качестве технического или рекультивационного грунта.

### Библиографический список

1. Разработка технологического регламента на удаление и использование донных отложений на объектах ООО «Промканал», образующихся при транспортировке и перекачке сточных вод предприятий-абонентов: отчет о НИР / Перм. гос. техн. ун-т. – Пермь, 2011.

2. Обоснование возможности использования Промышленного канала г. Березники как очистного сооружения / Н.Е. Коробова, И.С. Глушанкова, Е.В. Калинина [и др.] // Экология и промышленность России. – 2011. – № 5. – С. 28–31.

3. ГН 2.1.7.2041–06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве: утв. постановлением Гл. гос. сан. врача РФ № 1 от 23 января 2006 г.

4. ГН 2.1.7.2511–09. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве: утв. постановлением Гл. гос. сан. врача РФ № 32 от 18 мая 2009 г.

5. СанПиН 2.1.7.1287–03. Почва. Очистка населенных мест, бытовые и промышленные отходы, санитарная охрана почвы. Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы.

6. О введении в действие санитарных правил (вместе с СП 2.1.7.1038–01. Почва, очистка населенных мест, отходы производства и потребления, санитарная охрана почвы. Гигиенические требования к устройству и содержанию полигонов для твердых бытовых отходов. Санитарные правила): постановление Глав. гос. сан. врача РФ № 16 от 30.05.2001.

7. Почвоведение: учеб. для ун-тов: в 2 ч. / под ред. В.А. Ковды, Б.Г. Розанова. – Ч. 1. Почва и почвообразование / Г.Д. Белицина [и др.]. – М.: Высшая школа, 1988. – 400 с.

8. О введении в действие гигиенических нормативов ГН 2.1.7.2041–06 (вместе с ГН 2.1.7.2041–06. Почва, очистка населенных мест, отходы производства и потребления, санитарная охрана почвы. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. Гигиенические нормативы): постановление Гл. гос. сан. врача РФ № 1 от 23.01.2006.

Получено 10.11.2011