



УДК 628.393; 628.336.46

Некоторые подходы к рекультивации шламонакопителей целлюлозных предприятий Сибири

С. А. Потехин¹, Д. И. Стом^{1, 2, 3}, А. И. Гончаров⁴, Г. О. Жданова²,
В. В. Кондратьев¹

¹Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск

²Иркутский государственный университет, Иркутск

³Байкальский музей ИИЦ СО РАН, Листвянка

⁴Институт по проектированию предприятий целлюлозно-бумажной промышленности Сибири и Дальнего Востока, Иркутск

E-mail: stomd@mail.ru

Аннотация. Описывается отработанная в производственных условиях Братского ЛПК технология обезвоживания осадков очистных сооружений способом гравитационного уплотнения и замораживания/оттаивания. Подчёркивается её высокая экономичность и экологическая безопасность, простота, доступность и возможное её использование для рекультивации шламонакопителей целлюлозных предприятий Сибири, в том числе Байкальского ЦБК. Кроме того, обсуждается её рентабельность в случае использования сухого осадка в качестве биотоплива или удобрения. Непременным условием реализации этой технологии, как, впрочем, и подавляющего большинства других, является необходимость отвода воды из шламонакопителей с последующей очисткой на очистных сооружениях предприятия.

Ключевые слова: обезвоживание осадков, целлюлозно-бумажные предприятия, Байкальский ЦБК, шламонакопители.

Введение

В настоящее время в Иркутской области действуют два крупнейших лесохимических предприятия – Братский и Усть-Илимский лесопромышленные комплексы. Третье предприятие – Байкальский целлюлозно-бумажный комбинат (Байкальский ЦБК) был закрыт в 2013 г. Для всех трёх производств существует общая экологическая проблема – необходимость утилизации огромных, исчисляющихся миллионами кубических метров, объёмов отходов, аккумулированных в шламонакопителях за длительный период их работы. Осадки образовались в процессе очистки промышленных сточных вод и содержат до 90 % влаги [16]. В состав осадков всех целлюлозно-бумажных предприятий входят, прежде всего, избыточный активный ил и тонкодиспергированное целлюлозное волокно. Кроме того, в отходах Байкальского ЦБК содержится шлам-лигнин, осаждённый после химической очистки промышленных стоков. Обезвоживание таких осадков всегда было и остаётся одной из наиболее трудоёмких и высокочатратных ступеней

в технологическом процессе очистки производственных сточных вод. Это обусловлено низким коэффициентом водоотдачи жидких отходов, которые находятся в коллоидной форме. Они отличаются значительным содержанием связанной воды. Исследованиям свойств и состава осадков, разработке технологий их обезвоживания посвящено множество работ [11; 20; 23; 24; 25; 29; 32]. Однако внедрение их в производство затруднено в связи с высокими эксплуатационными и капитальными затратами. Вышеназванные целлюлозно-бумажные предприятия Сибири проектировались 60–70 лет назад, когда в стране ещё практически не использовали технологии обезвоживания и утилизации осадков в промышленных масштабах. Поэтому в проектах принимались общеизвестные классические решения по складированию образующихся отходов в осадконакопителях. Современные технологии обезвоживания и утилизации осадков включают сложные, высокозатратные и энергоёмкие процессы: реагентную обработку, флотацию, механическое обезвоживание на центрифугах, фильтр-прессах и т. д. [15; 18; 27; 28; 30]. Обезвоженный подобным образом осадок (кек) с содержанием сухих веществ 20–25 % подаётся, в конечном счёте, на сушку и сжигание в котлах с использованием мазута [14; 17; 31].

Аналогичная технология обработки осадков принята на Усть-Илимском ЛПК, где после заполнения шламонакопителя было приобретено соответствующее оборудование, построен и введён в эксплуатацию цех механического обезвоживания (ЦМО) и сжигания осадка. Мощность оборудования цеха рассчитана на обработку только «свежего», поступающего с очистных сооружений осадка. Осадконакопитель при этом выполняет роль аварийного сооружения для приёма жидких отходов в случае останова цеха на ремонт.

На Братском ЛПК жидкие осадки складировались в трёх шламонакопителях. Осадконакопитель № 1 заполнен жидкими отходами. После откачки надшламовой воды он засыпается твёрдыми производственными отходами с последующей рекультивацией. Осадконакопители № 2 и 3 суммарной вместимостью около 10 млн м³ являются действующими аккумуляторами жидких органических и минеральных отходов. Проектом реконструкции ЛПК («Большой Братск») было предусмотрено, а затем и выполнено сооружение цеха механического обезвоживания илосодержащих осадков с последующим их сжиганием в действующих котлах. При этом осадконакопитель № 2 подлежал рекультивации.

Технологии обезвоживания отходов, принятые на обоих предприятиях, являются дорогостоящими как по капитальным, так и эксплуатационным затратам. Основную долю затрат (до 80 %) составляет стоимость реагентов (флокулянтов и коагулянтов), применяемых в процессе обезвоживания. При этом остаются нерешёнными проблемы обезвоживания и утилизации огромных объёмов аккумулярованных ранее жидких отходов и рекультивации шламонакопителей.

Целью данного исследования явилась разработка технологии обезвоживания жидких отходов целлюлозно-бумажных предприятий Сибири путём гравитационного уплотнения осадков и промораживания-оттаивания с апробированием в условиях Братского ЛПК.

Материалы и методы исследования

Обследование шламонакопителей показывает, что аккумулярованные в них коллоидные осадки сохраняют свои свойства, связанную воду и структуру в течение многих лет. Они практически не уплотняются под слоем надосадочной воды. Заполненные осадками шламонакопители, как гидротехнические сооружения, представляют собой техногенную и экологическую угрозу в случае прорыва дамб. При анаэробных условиях в осадках шламонакопителя происходит образование сероводорода и метана, т. е. сооружения являются не только источниками дурнопахнущих выбросов, но и могут создать пожар- и взрывоопасную обстановку.

С целью снижения затрат на обработку осадков и рекультивацию сооружений в 2005–2006 гг. на Братском ЛПК по инициативе и под руководством С. А. Потехина были проведены опытно-промышленные эксперименты по разработке новой технологии обезвоживания осадка. В основу этой экономичной и экологичной технологии заложен принцип максимального использования природно-климатических условий региона, естественных сил гравитации, энергии мороза и тепла. Эксперименты проводили на действующем сооружении доочистки производственных сточных вод – пруду № 3. Биологически очищенные сточные воды БЛПК перед выпуском их в р. Вихореву подвергаются дополнительной очистке (доочистке) в трёх прудах-аэраторах и семи горизонтальных отстойниках, в которых взвешенные вещества выпадают в осадок. Последний представляет собой смесь целлюлозного волокна и активного ила.

Согласно проекту, осадок из сооружений удалялся в действующие шламонакопители. Однако в связи с выходом из строя трубопровода подачи осадка была изменена схема доочистки. Пруд № 3 вместимостью 1 100 тыс. м³ был выведен из технологической схемы доочистки и в течение 1997–2010 гг. выполнял функцию осадконакопителя, в котором аккумуляровался осадок из действующих прудов № 1 и № 2 в процессе их чистки. Столь длительный срок (13 лет) накопления в пруде огромных объёмов жидких отходов стал возможен благодаря отработанной технологии их частичного обезвоживания методом уплотнения, что обеспечивало необходимый запас свободной ёмкости.

Как упоминалось выше, коллоидные осадки под слоем надшламовой воды практически не поддаются уплотнению и только регулярный сброс из сооружения талой, осветлённой и дренажной воды нарушает установившееся равновесие в системе жидкость – осадок. Нарушение равновесия приводит к запуску механизма естественного обезвоживания осадка в самом сооружении за счёт гравитационного уплотнения, а также процессов замораживания-оттаивания верхнего слоя уплотнённого осадка с образованием твёрдого слоя (корки). Эта технология была отработана в 2005–2006 гг., когда был осуществлён годовой цикл обезвоживания осадка в пруду № 3, включая следующие этапы и операции:

– в летний период 2005 г. проводился регулярный и максимальный сброс осветлённой воды из пруда на действующие очистные сооружения,

при этом за счёт уплотнения концентрация осадка возросла с 20–30 г/дм³ до 60–80 г/дм³, а объём его сократился вдвое;

– в зимний период 2005–2006 г. происходило естественное частичное промораживание верхнего слоя осадка с образованием ледяного покрова толщиной 30–40 см. Одновременно с использованием экскаватора (Hitachi ZX 200) производилась выгрузка осадка из-под льда с полным замораживанием его на откосах сооружения в виде ледяных дамб;

– в весенне-летний период следующего 2006 г. происходило оттаивание льда с образованием на откосах очистных сооружений сухого продукта и плотной корки из осадка на поверхности пруда. Этим естественным процессам предшествовал сброс из пруда талой и дренажной воды на очистные сооружения.

Таким образом, в пруду № 3 в течение года одновременно обрабатывались две технологии обезвоживания осадков: путём полного и частичного промораживания.

Был проведён анализ воздушно-сухого осадка, полученного в результате полного промораживания-оттаивания. Определение теплотворной способности сухого осадка было проведено в лаборатории теплоэлектростанции Братского ЛПК колориметрическим методом (колориметрическая бомба) [10]. Физико-химические характеристики исходного и обезвоженного илосодержащего осадка, его химический состав и агрохимические показатели были определены в Аналитическом центре ОАО «СибНИИ ЦБП» в соответствии с нормативными документами: содержание сухих веществ осадков – [7], минеральных веществ – [8], органических веществ – [5], низшая теплота сгорания [3].

В соответствии с руководствами определяли содержание солей тяжёлых металлов в осадках (свинец, кадмий, мышьяк, медь, цинк, ртуть) – [21], содержание подвижного калия и фосфора – [4], содержание общего азота – [9], реакцию среды (рН вод) – [6].

Результаты и обсуждение

Технология частичного промораживания осадка. Весной 2006 г. после отвода талой воды на поверхности осадконакопителя осталась плотная корка толщиной 20–30 см, которая образовалась из замороженного и позже оттаявшего верхнего слоя осадка. Эта корка плотным слоем герметично закрыла всю акваторию пруда и предотвратила выбросы дурнопахнущих газов в летний период. Одновременно своей массой она действовала как пресс на нижние слои осадка, выжимая из них влагу и способствуя дальнейшему обезвоживанию нижних слоёв жидких отходов.

Влажная поверхность корки сначала покрылась ряской, а за летний период быстро заросла травой. Естественное освоение поверхности пруда свидетельствует о благоприятном агрохимическом фоне полученного таким образом искусственного грунта и наличии в нём основных необходимых для роста растений элементов. Таким образом, можно констатировать, что после сброса воды и воздействия естественных процессов промораживания и гра-

витационного уплотнения произошла частичная самопроизвольная естественная рекультивация сооружения.

В последующих годовых циклах, сопровождаемых эпизодическим сбросом дренажной и талой воды, толщина корки и её несущая способность возрастают до полного обезвоживания осадка с одновременной рекультивацией сооружения.

Технология полного промораживания осадка. Технология обезвоживания осадков методом замораживания на иловых площадках [24] не нашла широкого применения из-за низкой эффективности и невозможности обеспечить полное промораживание, что обусловлено тёплым дном сооружения и сложностью соотношения толщины налива слоя осадка с температурным режимом.

В процессе эксперимента полное промораживание осадка достигалось максимальным охлаждением пульпы путём её выгрузки и размещения на промороженном грунте откоса сооружения, т. е. обеспечения интенсивного массообмена холодного воздуха и осадка. Значительных площадей для промораживания при этом не требуется, поскольку осадок намораживается в виде вертикальной дамбы. Для этого экскаватором разбивается лёд, который используется для строительства подпорной стенки на откосе сооружения, а вычерпанный из-под льда жидкий осадок заливается за эту стенку и замораживается в течение всего зимнего периода.

В процессе полного промораживания илосодержащего осадка происходит кристаллизация и перераспределение форм влаги [13; 26], в результате чего связанная вода переходит в свободное состояние, легко удаляется и частично испаряется под действием солнечного излучения и тёплого весеннего воздуха. После освобождения от связанной воды происходит радикальное изменение агрегатного состояния осадка и уплотнение твёрдых ингредиентов. Намороженный на откосе осадок оттаивал под действием весеннего солнца и ветра и после самотёчного удаления воды быстро подсушивался. В нём происходили серьёзные структурные и, по-видимому, химические изменения с превращением в воздушно-сухой порошок чёрного цвета влажностью 10–15 %.

Этот продукт практически не даёт эмиссии вредных веществ, занимает объём в 15–20 раз меньше исходного, и после соответствующего санитарно-эпидемиологического контроля его можно транспортировать и утилизировать в качестве биотоплива и удобрения для повышения плодородия почв при озеленении, лесовосстановлении и т. д.

Опытно-промышленный эксперимент показал, что одним механизированным звеном в составе бульдозера и экскаватора за зимний период можно выгрузить и наморозить до 100 тыс. м³ жидкого осадка и получить из него около 5 тыс. тонн биотоплива. В таблице 1 приведена характеристика исходного и обезвоженного илосодержащего осадка.

Таблица 1

Характеристика исходного и обезвоженного илосодержащего осадка шламовых отходов Братского ЛПК

Наименование показателей	Исходный осадок	Обезвоженный осадок (средние показатели)
Содержание сухих веществ, %	4–6	85–90
Консистенция	Вязкий, текучий	Сухой зернистый порошок
Объёмный вес, т/м ³	1,05	0,4
Минеральная часть, %	18	18
Органическая часть, %	82	82
Низшая теплота сгорания, ккал/кг	–	4200

Примечание: исследования выполнены в Аналитическом центре ОАО «СибНИИ ЦБП» (Стромская Г. И.)

Изучение состава и свойств сухого остатка показывает, что он может быть использован в качестве биотоплива, так как содержание сухих веществ и органической части в нём достигает 80–90 %, а низшая теплота сгорания находится в пределах 4 000–4 500 ккал/кг. Результаты определения теплотворной способности приведены в таблице 2.

Таблица 2

Теплотворная способность сухого осадка шламовых отходов Братского ЛПК

Дата отбора проб	№ пробы	W, %	S, %	H, %	Q _B ^a , ккал/кг	Q _B ^c , ккал/кг	Q _H ^p , ккал/кг
29.06.1996	1	96,5			5 621,0		
04.02.1998	1	5,23			4 847,0		
30.07.1998	1	1,1			1 766,0		
18.09.1998	1	97,1	2,02	6,1	5 322,0	5 290,1	-
	2	82,0	1,9	6,1	5 612,0	5 555,2	448,6
	3	84,0	1,51	6,1	5 116,0	5 034,8	248,9
09.03.1999	1	12,9	6,0	6,6	4 853,8	4 769,0	3 766,0
09.01.2001	1	3,45	6,0	6,6	4 731,9	4 592,1	4 215,0
14.10.2003	1	6,02	6,0	6,0	5 066,7	4 926,2	4 566,1
	2	8,02	6,0	6,0	4 333,9	4 293,6	3 921,4
25.05.2006	1	24,3	6,0	6,0	3 778,8	3 640,0	3 170,2

Примечание: W – влажность осадка, S – содержание серы, H – содержание водорода, Q_B^c – высшая теплота, Q_H^p – низшая теплота сгорания. Исследования выполнены в лаборатории теплоэлектростанции Братского ЛПК (зав. лаб. Огиенко Л. В.)

Анализ состава осадка показал высокое содержание в нём не только органических веществ, но и наличие таких важных биогенных элементов, как азот и фосфор. При этом уровень токсичности осадков, как показало биотестирование, значительно ниже установленных норм.

Это свидетельствует о возможности использования его в качестве удобрения в зелёном строительстве, при озеленении газонов, а также в процессе рекультивации отработанных полигонов и шламонакопителей для со-

здания почвенно-растительного слоя. В табл. 3 приведён состав и агрохимические показатели сухого осадка.

Таблица 3

Состав и агрохимические показатели сухого осадка шламовых отходов Братского ЛПК

Допустимое валовое содержание тяжёлых металлов и мышьяка	ГОСТ Р 17.4.3.07-2001 мг/кг не более для осадков группы		Уставленное содержание мг/кг	НД на методы испытаний
	I	II		
Свинец	250	500	3,3	Руководство по санитарно-химическому исследованию почвы (нормативные материалы) [21]
Кадмий	15	30	1,1	
Мышьяк	10	20	1,0	
Медь	750	1 500	200,3	
Цинк	1 750	3 500	392,6	
Ртуть	7,5	15	0,43	
Агрохимические показатели	Значение показателей обеспеченности почвы			
Подвижный калий, мг/кг	40–200		710	ГОСТ 26207-91
Подвижный фосфор, мг/кг	30–250		440	ГОСТ 26207-91
Общий азот, %	900–2 600		33 000	ГОСТ 26715-85
Содержание органики, %			84	ГОСТ 26213-91
Реакция среды (рН вод)	4,5–8,0		6,5	ГОСТ 26483-85

Примечание: исследования выполнены в Аналитическом центре ОАО «СибНИИ ЦБП» (Стромская Г. И.)

Для сравнения выполнены расчёты и определены технико-экономические показатели (ТЭП) трёх вариантов обращения с жидкими отходами на Братском ЛПК (табл. 4):

1. Действующая технология складирования органических осадков в шламонакопителях.
2. Обработка осадков в цехе механического обезвоживания (ЦМО) с использованием флокулянтов и сжиганием кека.
3. Технология раздельного обезвоживания путём уплотнения и промораживания коллоидных осадков с получением вторичного сухого продукта (биотоплива) и его сжиганием.

Заключение

Отработанная в производственных условиях Братского ЛПК технология обезвоживания илосодержащих осадков способом гравитационного уплотнения и замораживания-оттаивания является высокоэкономичной и экологически безопасной, отличается простотой и доступностью. Это обеспечивается за счёт эффективного использования природно-климатических особенностей региона Восточной Сибири с её продолжительными и низкотемпературными зимами. Таким образом, отпадает необходимость в капитальных затратах на строительство объектов и использование реагентов. Кроме того, она становится рентабельной в случае использования сухого осадка в качестве биотоплива или удобрения.

Таблица 4

Технико-экономические показатели вариантов складирования, обезвреживания и утилизации отходов очистных сооружений Братского ЛПК в тыс. руб. (в ценах 2010 г.)

№ п/п	Содержание статей затрат и доходов	I вариант			II вариант			III вариант					
		Складирование смеси осадков в шламонакопителях		Обезвреживание в ЦМО с получением и сжиганием кека		Раздельное обезвреживание с получением и сжиганием биотоплива (БТ)							
		затраты	%	прибыль	затраты	%	прибыль	затраты	%	прибыль			
1	Капитальные затраты на обработку осадков												
	Всего				51 000,0					17 500,0			
	На 1 т кека				0,7								
	На 1 т биотоплива									0,4			
	Эксплуатационные затраты:												
2	Всего	15 580,0	100,0		28 226,0	100,0		5 391,0	100,0				
	на 1 т кека				0,4			0,1					
	на 1 т биотоплива												
	на 1 т осадка (по а.с.в.)	0,5											
	В том числе:												
3	на перекачку осадка и надшламовой воды (стоимость электроэнергии)	806,0	6,5		270,0	1,0		650,0	12,0				
	на обезвреживание				1 490,0	5,0		523,0	10,0				
	на химикаты				20 816,0	74,5			-				
	на транспортировку кека и БТ				5 650,0	20,0		4 218,0	78,0				
	Экологические платежи за складирование органических отходов	6 674,0		53,0									
4	Ремонт коммуникаций насосных станций	5 100,0		40,5									
	Получение и сжигание биотоплива и кека				28 226,0			5 391,0				18 115,0	
	Чистая прибыль:												
	всего												12 724,0
	на 1 т биотоплива (БТ)												0,32

Примечание: расчёты выполнены Потехиным С. А.

Согласно этой технологии процесс обезвоживания происходит непосредственно в самих картах путём уплотнения, промораживания и оттаивания верхнего слоя предварительно концентрированного осадка. После сброса надшламовой, талой и дренажной воды на очистные сооружения на поверхности карты остаётся плотный слой (корка) обезвоженного осадка, который, отжимая воду из нижних слоёв, ускоряет процесс их обезвоживания и увеличения плотности. Образование корки, которая в течение лета самопроизвольно покрывается растительностью, является началом естественного процесса рекультивации карты без участия человека. Через 3–4 годовых цикла в карте произойдёт полное естественное обезвоживание всей массы отходов, которые приобретут плотность обычного грунта. Одновременно будет происходить рекультивация сооружения путём зарастания поверхности травой, кустарниками и деревьями.

Этот вариант позволяет обезвоживать и ликвидировать как старые залежи жидких осадков с рекультивацией шламонакопителей, так и вновь образующиеся отходы в процессе работы очистных сооружений.

Предлагаемая технология может оказаться особенно перспективной для обезвоживания осадков и рекультивации карт шламонакопителей Байкальского ЦБК. Осадки ЦБК по составу и свойствам в основном близки отходам БЛПК. Они также являются коллоидной смесью тонкодиспергированного целлюлозного волокна и избыточного активного ила. В смеси этих осадков содержится шлам-лигнин после химической очистки промышленных стоков, который также находится в коллоидной форме. Кроме того, компоненты отходов ЦБК могут быть использованы как субстраты для микроорганизмов в различных биотехнологических процессах.

В шламонакопителях Байкальского ЦБК к моменту его закрытия было накоплено около 6,2 млн м³ отходов, в том числе 3,7 млн м³ жидких осадков, аккумулированных в картах № 1–10 [19]. Каскад гидротехнических сооружений Байкальского ЦБК, нависших над ВСЖД, представляет техногенную и экологическую угрозу для железной дороги и озера Байкал в случае прорыва дамб. Вероятность прорыва повышается за счёт сейсмичности региона и континентальности климата.

На основании вышеизложенного можно полагать, что после соответствующей опытно-промышленной проверки вышеупомянутая технология, отработанная на БЛПК, может быть предложена для обезвоживания жидких отходов и рекультивации карт осадконакопителей целлюлозно-бумажных предприятий Сибири, в том числе Байкальского ЦБК. В пользу сказанного свидетельствуют также результаты лабораторных и полевых экспериментов А. В. Богданова по вымораживанию осадков карт-накопителей Байкальского ЦБК [1].

Необходимо учитывать, что кроме уже аккумулированных шламовых отходов, в картах содержатся значительные объёмы воды, постоянно пополняемые за счёт осадков (дождь, снег), а также дренажной воды, которая будет образовываться практически при любом варианте предлагаемых технологий. Поэтому непременным условием реализации этой технологии, как и,

впрочем, подавляющего большинства других предлагаемых технологий, является предварительная откачка из сооружений загрязнённых надшламовых, талых и дренажных вод, объём которых может достигать объёма складированного осадка, и дальнейшая их очистка на очистных сооружениях до установленных нормативов. Кроме того, в процессе обезвоживания осадков также необходима регулярная откачка воды и её очистка. Для очистки сточных вод на Байкальском ЦБК необходимо максимально использовать уже имеющиеся очистные сооружения промышленных сточных вод, насосные станции, коммуникации и т.д.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке проекта РФФИ № 16-48-030881, 16-48-030887

Список литературы

1. Богданов А. В. Технология утилизации осадков карт-шламонакопителей ОАО «Байкальский ЦБК» / А. В. Богданов, А. С. Шатрова, О. Л. Качор // XXI век. Техносферная безопасность. – 2016. – Т. 1, № 2. – С. 61–66.
2. Веригина Е. Л. Обработка осадков на иловых площадках / Е. Л. Веригина // Водоснабжение и санитарная техника. – 1999. – № 10. – С. 36.
3. ГОСТ 147-95. Топливо твердое минеральное. Определение высшей теплоты сгорания и вычисление низшей теплоты сгорания. – М. : Изд-во стандартов, 1997. – 49 с.
4. ГОСТ 26207-91. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации Цинао. – М. : Изд-во стандартов, 1992. – 6 с.
5. ГОСТ 26213-91. Почвы. Методы определения органического вещества. – М. : Изд-во стандартов, 1992. – 8 с.
6. ГОСТ 26483-85. Почвы. Определение рН солевой вытяжки, обменной кислотности, обменных катионов, содержания нитратов, обменного аммония и подвижной серы методами Цинао. – М. : Изд-во стандартов, 1985. – 6 с.
7. ГОСТ 26713-85. Удобрения органические. Метод определения влаги и сухого остатка. – М. : Изд-во стандартов, 1985. – 6 с.
8. ГОСТ 26714-85. Метод определения золы. – М. : Изд-во стандартов, 1985. – 8 с.
9. ГОСТ 26715-85. Удобрения органические. Методы определения общего азота. – М. : Изд-во стандартов, 1985. – 20 с.
10. ГОСТ Р 54261-2010. Ресурсосбережение. Обращение с отходами и производство энергии. – М. : Стандартинформ, 2012. – 19 с.
11. Денисов С. Е. Вибрационное обезвоживание осадков сточных вод на иловых полях / С. Е. Денисов, Е. Н. Гордеев // Universum: Технические науки. – 2015. – № 6 (18). URL: <http://7universum.com/ru/tech/archive/item/2252>
12. Евилевич А. З. Утилизация осадков сточных вод / А. З. Евилевич, М. А. Евилевич. – Л. : Стройиздат, 1988. – 248 с.
13. Еремеев А. М. Обзор методов разделения водосодержащих смесей путём замораживания и оттаивания / А. М. Еремеев, А. А. Елпидинский // Вестн. Казан. техн. ун-та. – 2013. – Вып. 18, Т. 16. – С. 248–251.
14. Кожевников Ю. А. Пиролиз иловых осадков сточных вод в водяном паре высокого давления / Ю. А. Кожевников, А. Г. Чижиков, С. В. Пашкин // Науковий вісник нубіп України. серія: техніка та енергетика АПК. – 2015. – № 209-1. – С. 229–235.

15. Лобовиков А. О. Эколого-экономическая эффективность использования наилучших доступных технологий утилизации осадков сточных вод / А. О. Лобовиков, Ю. В. Завизион // Управление экономическими системами. – 2013. – № 2 (50). – С. 1–10.
16. Любарский В. М. Осадки природных вод и методы их обработки / В. М. Любарский // М., 1980. – 129 с.
17. Насыров И. А. Пиролиз иловых осадков очистных сооружений как способ утилизации / И. А. Насыров, Р. Р. Зиннатов, Г. В. Маврин // Сб. науч. тр. по материалам VIII Междунар. науч.-практ. конф. «Современные тенденции развития науки и технологий», Белгород. – 2015. – С. 19–20.
18. Низкотемпературная двухступенчатая сушка осадка сточных вод / П. Кноер [и др.] // Водоснабжение и санитарная техника. – 2012. – № 4. – С. 7–11.
19. Оценка качества водных ресурсов в прибрежной части оз. Байкал и источники их загрязнения / Т. Е. Афонина [и др.] // Вестн. ИрГТУ. – 2015. – № 6 (101). – С. 37–43.
20. Разрушение высокодисперсных коллоидных систем на основе синтетических СОЖ и шламовых гидроокисных осадков методами температурного воздействия / В. Г. Попов [и др.] // Фундаментальные исследования. – 2015. – Вып. № 2–24. – С. 5357–5361.
21. Руководство по санитарно-химическому исследованию почвы (нормативные материалы). – М. : Минздрав РФ, 1993. – 145 с.
22. Система аэрации сточных вод / Солдатов Ю. Н., Потехин С. А., Курцевич Е. П. // Патент RU 2201920 C02F3/20.
23. СНиП 2.04.02 -84. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. – М. : ФГУП ЦПП, 1985. – 136 с.
24. СНиП 2.04.03-85. Канализация. Наружные сети и сооружения. – М. : ФГУП ЦПП, 1986. – 87 с.
25. Технология глубокого обезвоживания избыточного активного ила на основе использования эффекта упругих колебаний / М. С. Дьяков [и др.] // Экология и промышленность России. – 2015. – Т. 19. № 7. – С. 4–9.
26. Туровский И. С. Обработка осадков сточных вод / И. С. Туровский. – М., 1975. – С. 55–56.
27. Chen Y. Effect of acid and surfactant treatment on activated sludge dewatering and settling / Y. Chen, H. Yang, G. Gu // Water Research. – 2001. – Vol. 35, Issue 11. – P. 2615–2620.
28. Electro-Dewatering of Anaerobically Digested and Activated Sludges: An Energy Aspect Analysis / J. Olivier [et al.] // Journal Drying Technology. An International Journal. – 2014. – Vol. 32, Issue 9. – P. 1091–1103.
29. Enhanced dewatering characteristics of waste activated sludge with Fenton pretreatment: effectiveness and statistical optimization / G. Zhen [et al.] // Frontiers of Environmental Science & Engineering. – 2014. – Vol. 8, Issue 2. – P. 267–276.
30. Insights into the respective role of acidification and oxidation for enhancing anaerobic digested sludge dewatering performance with Fenton process / W. Zhang [et al.] // Bioresource Technology. – 2015. – Vol. 181. – P. 247–253.
31. Nurmesniemia H. A case study of waste management at the Northern Finnish pulp and paper mill complex of Stora Enso Veitsiluoto Mills / H. Nurmesniemia, R. Pöykiöb, R. L. Keiski / Waste Management. – 2007. – Vol. 27, Issue 12. – P. 1939–1948.
32. Quantification of wastewater sludge dewatering / S. J. Skinner [et al.] // Water Research. – 2015. – Vol. 82. – P. 2–13.

Some Approaches for Reclamation of Tailings Pond Pulp Mills in Siberia

S. A. Potekhin¹, D. I. Stom^{1,2,3}, A. I. Goncharov⁴, G. O. Zhdanova²,
V. V. Kondratiev¹

¹ Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk

² Irkutsk State University, Irkutsk

³ Baikal Museum ISC SB RAS, Listvyanka

⁴ Institute for the Design of the Pulp and Paper Industry in Siberia and the Far East, Irkutsk

Abstract. Technology dewatered sediment treatment facilities process of freezing and thawing is described. This technology worked out the spent under production conditions of the wood-processing plant in Bratsk city. High efficiency, environmental friendliness, simplicity, accessibility emphasized in the work. This can be used for the remediation of sludge collectors of pulp mills in Siberia, including the Baikal Pulp and Paper Mill. Furthermore, it is discussed in the case of the profitability of dry sludge as fertilizer or biofuel. An indispensable condition for the implementation of this technology, as, indeed, and the vast majority of others, is the need to divert water from the tailings pond, followed by purification of the wastewater treatment facilities of the enterprise.

Keywords: dewatering of sewage sludge, pulp and paper mills, the Baikal Pulp and Paper Mill, sludge collectors.

Потехин Семён Александрович
старший научный сотрудник
Иркутский национальный исследовательский технический университет
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83
e-mail: stomd@mail.ru

Potekhin Semyon Aleksandrovich
Senior Research Scientist
Irkutsk National Research Technical University (INRTU)
83, Lermontov st., Irkutsk, 664074
e-mail: stomd@mail.ru

Стом Дэвард Иосифович
доктор биологических наук, профессор,
зав. лабораторией
Иркутский государственный университет
664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1
профессор
Иркутский национальный исследовательский технический университет
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83
главный научный сотрудник
Байкальский музей ИИЦ СО РАН,
664520, п. Листвянка, ул. Академическая,
д. 1
тел.: (3952) 34–34–37
e-mail: stomd@mail.ru

Stom Devard Iosifovich
Doctor of Sciences (Biology),
Professor, Head of laboratory
Irkutsk State University
1, K. Marx st., Irkutsk, 664003
Professor
Irkutsk National Research Technical University (INRTU)
83, Lermontov st., Irkutsk, 664074
Chief Research Scientist
Baikal Museum ISC SB RAS
1, Akademicheskaya st., Listvyanka Settl.,
664520
tel.: (3952) 34–34–37
e-mail: stomd@mail.ru

Гончаров Алексей Иванович
генеральный директор
Институт по проектированию
предприятий целлюлозно-бумажной
промышленности Сибири и Дальнего
Востока
664025 г. Иркутск, ул. Степана Разина, 6
тел. (3952)24–22–81
e-mail: goncharov@sgb.irk.ru

Goncharov Aleksey Ivanovich
Director General
Institute for the Design of the Pulp and
Paper Industry in Siberia and the Far East
6, Stepan Razin st., Irkutsk, 664025
tel.: (3952)24–22–81
e-mail: goncharov@sgb.irk.ru

Жданова Галина Олеговна
младший научный сотрудник
Иркутский государственный университет
664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1
тел.: (3952) 34–34–37
e-mail: zhdanova86@yandex.ru

Zhdanova Galina Olegovna
Junior Research Scientist
Irkutsk State University
1, K. Marx st., Irkutsk, 664003
tel.: (3952) 34–34–37
e-mail: zhdanova86@yandex.ru

Кондратьев Виктор Викторович
кандидат технических наук, руководитель
Инновационно-технического центра
Иркутский национальный исследователь-
ский технический университет
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83
тел.: (3952)40–59–06
e-mail: kvv@istu.edu

Kondratiev Viktor Viktorovich
Candidate of Sciences (Technics), Head
of the Innovation and Technology Center
Irkutsk National Research Technical
University
83, Lermontov St., Irkutsk, 664074
tel.: (3952)40–59–06
e-mail: kvv@istu.edu