

## УТИЛИЗАЦИЯ И ЗАХОРОНЕНИЕ ОТХОДОВ

УДК 502.36:676.08

### РАЗРАБОТКА ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОЙ ТЕХНОЛОГИИ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ ОАО “БАЙКАЛЬСКИЙ ЦБК”

© 2017 г. А. В. Богданов, А. С. Шатрова, О. Л. Качор

ФГБОУ ВО “Иркутский национальный исследовательский технический университет”,  
ул. Лермонтова, д. 83, г. Иркутск, 664074 Россия. E-mail: bogdanov.lab@istu.edu

Поступила в редакцию 04.03.2016 г.

Основную массу отходов, не утилизируемых в настоящее время, составляют осадки шлам-лигнина, которые складированы в картах-шламонакопителях. В ходе проведения мониторинга объектов окружающей среды установлено, что в почвах Солзанской промышленной площадки содержание бенз(а)пирена превышает ПДК в 3 раза, а тяжелых металлов – в 2–7 раз. При прорыве дамб карт-шламонакопителей ОАО “Байкальский ЦБК” (землетрясение, сель, неудовлетворительное состояние емкостей) возможно попадание такого количества загрязнений в оз. Байкал, которое при нормальной работе комбината поступило бы в озеро за 700 лет. Независимо от технологии ликвидации отходов шлам-лигнина целесообразно предварительно уменьшить их объем, что фактически позволит пропорционально сократить технико-экономические затраты. Проведенные камеральные и полевые работы показали, что вымораживание осадков приводит к разрушению его коллоидной структуры и уменьшению объема, в зависимости от его состава на 30–40%, уменьшению влажности на 6–11%. Предложенная концепция технологии рекуперации осадков карт ОАО “Байкальский ЦБК”, в основе которой лежит создание условий процессов естественного вымораживания, позволяет не только сократить технико-экономические затраты, но и повысить экологическую безопасность проекта с ожидаемым экологическим эффектом от ликвидации накопленных отходов прошлых лет равным 6.5 млрд руб.

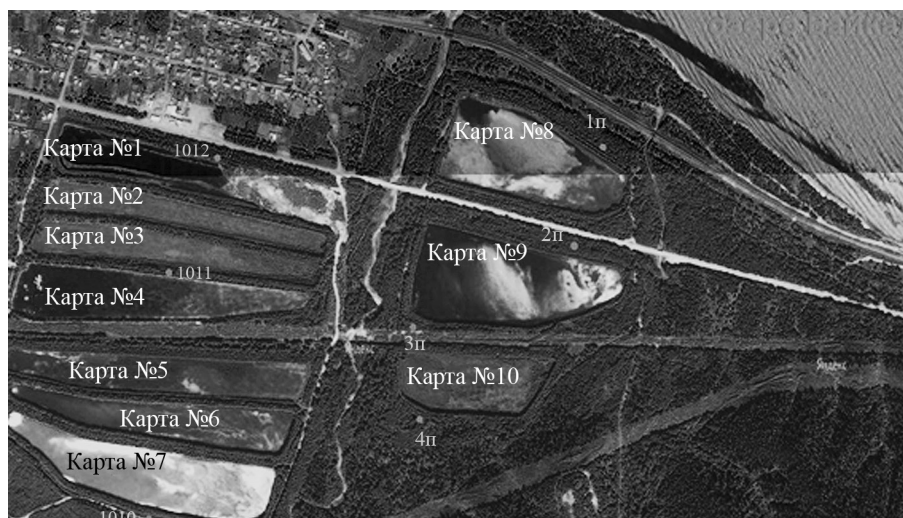
**Ключевые слова:** шлам-лигнин, карты-шламонакопители, целлюлозно-бумажная промышленность, ОАО “Байкальский ЦБК”, утилизация, вымораживание.

#### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время ситуацию, сложившуюся с образованием, использованием, хранением и захоронением отходов, можно определить как критическую, требующую неотложных мер. Ежегодно в России образуется до 7 млрд т отходов, и лишь 2 из них используются как вторичное сырье, при этом отходы целлюлозно-бумажной промышленности составляют 15%. Основную массу не утилизируемых отходов составляют осадки шлам-лигнина, образующиеся при биологической и физико-химической очистке сточных вод предприятий, складированные в картах-шламонакопителях. На предприятиях Байкальского региона, расположенных в районах прибрежной зоны оз. Байкал, Братского и Усть-Илимского водохранилищ, складировано более 30 млн м<sup>3</sup> подобного осадка. В мировой практике отсутствуют данные о рекультивации площадей, занятых подобными шлам-лигнину отходами [2–4]. Это объясняется ограниченным применением физико-химической очистки на предприятиях, производящих

целлюлозу, а также трудностями расшифровки взаимодействия веществ в ходе физических, химических и биологических процессов, протекающих в этом техногенном субстрате. Недостаточно изучено воздействие на эти процессы факторов окружающей природной среды (температуры, инсоляции, грунтовых вод, атмосферных осадков). Отсутствие реальных решений по утилизации осадка объясняется его сложным физико-химическим и дисперсным составом, высокой степенью гидрофильности, преимущественно представленной связанной водой, а также трудоемким и сложным технологическим процессом его переработки. Предлагаемые варианты утилизации осадка такие, как омоноличивание с применением извести, электроосмос, обработка солями железа, вермикулирование, транспирация или их простое захоронение, к настоящему времени в практике не нашли широкого применения.

В федеральной целевой программе “Охрана озера Байкал и социально-экономическое развитие Байкальской природной территории на



**Рис. 1.** Космическая съемка расположения карт-шламонакопителей № 1–10 Солзанской площадки ОАО «Байкальский ЦБК» (1012, 1011, 1010 – контрольно-наблюдательные скважины, 1п–4п – точки отбора образцов почвы).

2012–2020 годы” сказано, что один из наиболее известных загрязнителей вод озера – Байкальский целлюлозно-бумажный комбинат (ОАО «БЦБК»). С учетом особенностей режима природопользования в бассейне оз. Байкал, определяемого необходимостью сохранения его уникальной экосистемы как мирового наследия, разработка экологически безопасной технологии комплексной переработки осадков шлам-лигнина, базирующаяся на принципах наилучших доступных технологиях (НДТ) при обращении с отходами, – крайне актуальная задача.

#### ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ

Коллоидные осадки шлам-лигнина ОАО «БЦБК», объемом около 8 млн м<sup>3</sup> складированы в картах с сейсмоустойчивостью в 9 баллов, имеющих многослойную гидроизоляцию из природных и синтетических материалов, предотвращающих дренаж. Соотношение компонентов в осадке: лигнинные вещества (40–45%), волокно (15–20%), активный ил (15–20%), зольный остаток (10–20%). Поскольку в качестве коагулянта и флокулянта при химической очистке сточных вод на комбинате использовался глинозем и полиакриламид, их остаточные концентрации присутствуют и в шлам-лигнине. В 50 г осадка содержится: глинозема (в пересчете на ион алюминия) до 5 г, полиакриламида – до 1.2 г. Карты расположены на 2-х площадках в относительной близости от г. Байкальск, пос. Солзан и Бабха. На Солзанской площадке площадью около 105 га располагаются карты № 1–10 (рис. 1). На Бабхинской площадке площадью около 33 га располагаются

карты № 12–14; на промышленной площадке ОАО «БЦБК» – промежуточная карта № 11.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для оценки динамики изменения состояния окружающей среды в районе промышленной площадки складирования осадков шлам-лигнина (см. рис. 1) в период с 2009 по 2016 г. отбирали и анализировали образцы проб почв, растений, подземных, надшламовых вод и осадков. Установлено, что содержание в почвах бенз(а)пирена превышает ПДК в 3 раза, тяжелых металлов – в 2–7 раз. Исследования на трех тест-объектах (*Lepidium sativum*, *Chlorella vulgaris* Beijer, *Daphnia magna* Straus) показали, что содержащиеся в картах отходы оказывают влияние на токсичность почвы. Почву можно отнести к среднетоксичной.

В пробах воды, отобранных из наблюдательных скважин перехватывающего водозабора, превышены ПДК для рыбохозяйственных вод: формальдегида – до 1.3–2.9 ПДК, нефтепродуктов – до 6.2 ПДК, алюминия 3.2–19.7 ПДК, железа – до 8.9 ПДК. Полученные данные мониторинга состояния объектов окружающей среды в значительной степени соответствуют полученным значениям пяти прошлых лет (среднее отклонение не превышает 8%). Анализ растительности (хвоя кедра сибирского (*Pinus sibirica* Du Tour)), расположенной на исследуемой территории, не выявил превышения нормативов содержания тяжелых металлов в ее биомассе.

На основании полученных мониторинговых данных объектов окружающей среды на территории Солзанской промышленной площадки за

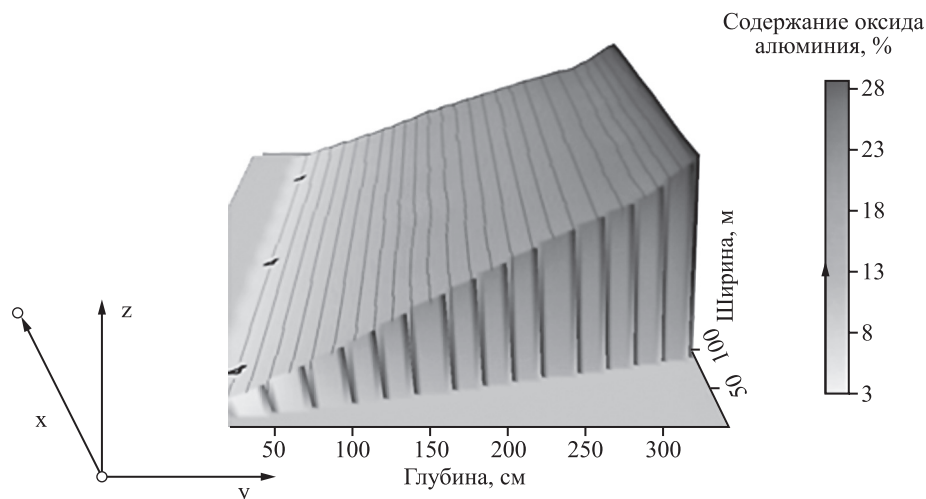


Рис. 2. Содержание оксида алюминия (%) в осадках шлам-лигнина (карта № 2).

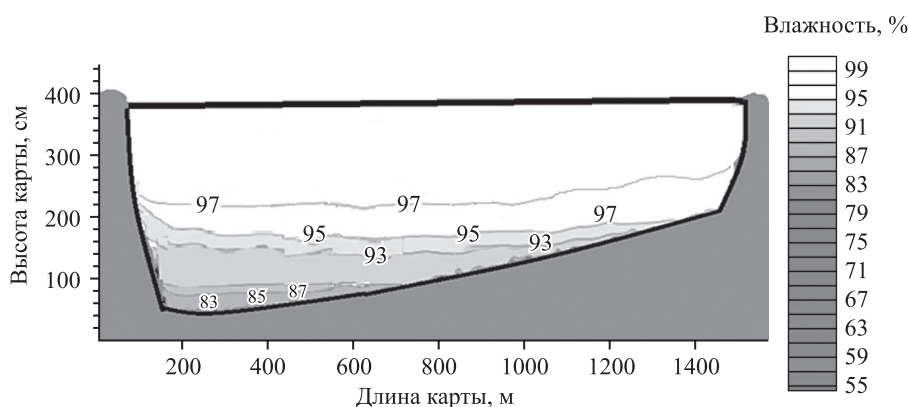


Рис. 3. 2D-схема распределения влажности осадков карты № 2.

последние 5 лет установлена некоторая стабилизация в них содержания загрязняющих веществ, что может свидетельствовать о достижении их критической концентрации. Однако это означает наступление стабильного экологического баланса, поскольку его нарушение возможно в любое время под воздействием извне различных природных или техногенных факторов (сель, землетрясение более 9 баллов, использование необдуманных технологических решений и т.п.). В процессе проведенных полевых исследований установлено, что осадки, хранящиеся в картах, расположенные на Солзанской промышленной площадке, имеют различный морфологический и физико-химический состав. Влажность осадков варьирует от 74% (карта № 5, среднее значение) до 86% (карта № 8, среднее значение). На основании полученных данных с помощью программы Surfer впервые построено 3D-изображение залегания колодного осадка карты № 2 (по осям x, y размеры карты) и с содержанием в нем оксида алюминия (по оси z) (рис. 2). Алюминий – ценный компонент, при

рекуперации которого может быть получен высокоэффективный сорбент или сырьевая смесь для получения цемента марки М400 [5–8]. Как видно из рис. 2, содержание алюминия увеличивается в зависимости от залегания глубины осадка. Технология утилизации осадков шлам-лигнина целесообразна при его переработке, начиная с глубины 1.5 м, где содержание алюминия по оксидной форме достигает 15%.

На рис. 3 приведено 2D-изображение залегания осадка карты № 2. Влажность осадка по вертикальному разрезу неравномерна, но с глубиной карты понижается с 98 до 83%, что связано с его естественным уплотнением. Такое распределение минеральных компонентов и влажности осадка можно объяснить тем, что по технологии заполнения карт ОАО “БЦБК” жидкий осадок напускался с восточной оконечности карты и, по мере его продвижения по наклонному днищу, к западному концу уплотнялся.

**Таблица 1.** Систематизация карт-шламонакопителей ОАО “БЦБК”

Группа	Номер карты	Состав отходов (основные компоненты)	Накоплено, т	Площадь, га	Год окончания эксплуатации
I	1	Строительный мусор, шлам-лигнин, золы, древесные отходы и бытовые отходы	331580.2	4.44	1990
	12		742500.0	11.8	2030
II	2	Осадки от очистки сточных вод – шлам-лигнин	263472.0	6.3	1978
	3		263472.0	6.0	1976
	8		368280.0	13.88	1990
	9		480480.0	24.44	1990
	10		300564.0	15.87	1990
III	4	Шлам-лигнин, зола от сжигания осадка очистки сточных вод, шлам зеленого шелока, зола корневых котлов, зола от сжигания углей	455011.8	10.89	1995
	5		666266.0	7.7	1995
	6		249663.7	9.51	1976
	7		385815.1	19.83	1976
IV	11	Золы ОАО “Байкальский ЦБК” и ТЭЦ	594000.0	8.3	2030
	13		1633500.0	11.8	2003
	14		220000.0	8.3	2032

Анализ полученных и имеющихся данных по морфологическому составу и физико-химическим свойствам осадков карт ОАО “БЦБК” впервые позволил провести их систематизацию (табл. 1), позволяющую определить концепцию технологии их дальнейшей утилизации, базирующуюся прежде всего, на их компонентном составе и, согласно НДТ ГОСТ Р 55827–2013, “*учитывать их ресурсный потенциал, необходимость охраны окружающей среды и здоровье людей*”.

На взгляд авторов, независимо от выбора вариантов технологии ликвидации отходов шлам-лигнина, целесообразно предварительно уменьшить их объем, что фактически позволит пропорционально сократить технико-экономические затраты [1]. Как показали проведенные исследования, наиболее эффективный способ уплотнения осадков – их естественное вымораживание. Условия для этого создаются путем освобождения поверхности карт от снежного покрова (например, газоструйными ветровыми машинами), который является своеобразным 1.5-метровым защитным экраном, предотвращающим промораживание осадка на всю глубину его залегания. Кроме того, в смеси активного ила и шлам-лигнина протекают биологические процессы, которые в энергетическом отношении являются экзотермическими.

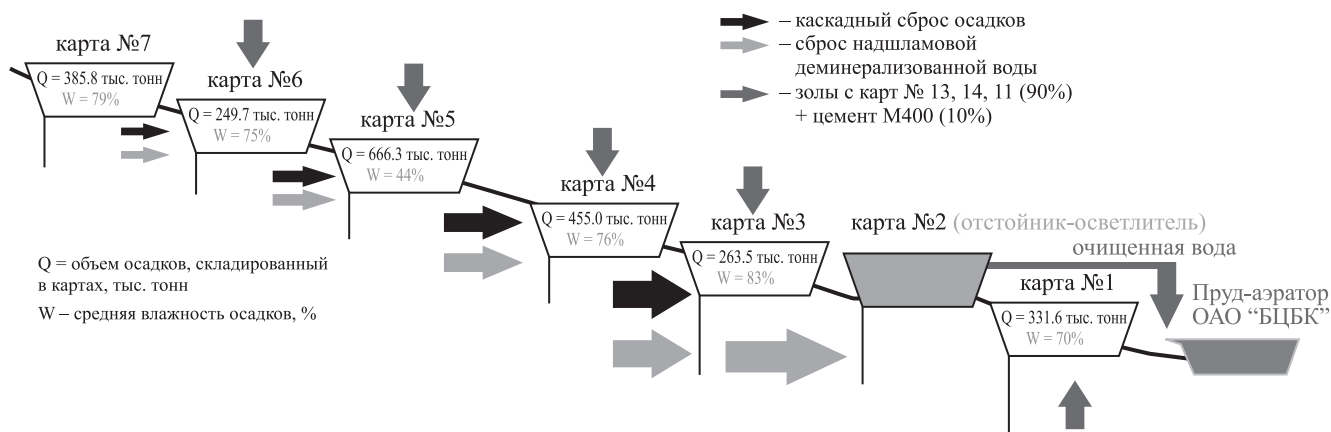
Проведенные камеральные и полевые работы показали, что вымораживание осадков приводит к разрушению его коллоидной структуры и

уменьшению объема в зависимости от его состава на 30–40%, уменьшению влажности на 6–11%. При этом почти на порядок снижается содержание бенз(а)пирена – основного токсичного элемента – снижается в 4–7 раз (табл. 2). Содержание алюминия, основного ценного компонента, содержащегося в осадке шлам-лигнина, приведенное в пересчете на абсолютно сухой вес, в процессе вымораживания не меняется.

Предлагаемая концепция технологии утилизации осадков карт ОАО “БЦБК” позволяет уменьшить их объем за счет разрушения коллоидной структуры и получить 3 исходных материала: 1) деструктурированный коллоидный осадок (35%), 2) минерализованные надшламовые воды (5%), 3) деминерализованные надшламовые воды (60%), которые самотеком каскадно сбрасываются в заранее подготовленную карту № 2, служащую отстойником-осветлителем (рис. 4). После осаждения остаточных загрязняющих веществ очищенная вода подается в имеющийся пруд-аэратор ОАО “БЦБК” и далее в оз. Байкал. Деструктурированный осадок и минерализованная вода насосами каскадно перекачивается с 7-й на нижерасположенные по рельефу карты до их полного последовательного заполнения (см. рис. 4). Для получения экобетонированной смеси в осадок с карт № 11, 13, 14 по существующему золотопроводу подаются золы с добавлением до 10% цемента марки М400. Для создания

**Таблица 2.** Физико-химические показатели осадков КШН ОАО «БЦБК» до и после вымораживания

Осадки карт ОАО «БЦБК»		Показатели				
		влажность, %	ξ-потенциал поверхности осадка, мВ	удельное сопротивление фильтрации осадка, см/г	бенз(а)-пирен, мкг/кг (ПДК почв 20 мкг/кг)	всхожесть семян кресс-салата, %
шлам-лигнин и золы, карта № 4	до вымораживания	62.4	-26.4	$1.4 \cdot 10^4$	29.7	80
	после вымораживания	53.3	-11.6	$2.8 \cdot 10^3$	3.4	90
шлам-лигнин, карта № 2	до вымораживания	90.1	-34.1	$4.9 \cdot 10^4$	3.1	60
	после вымораживания	78.9	-10.1	$6.2 \cdot 10^3$	0.78	83



**Рис. 4.** Блок-схема технологии утилизации отходов ОАО «Байкальский ЦБК».

условий перемешивания зóлы и цемент подаются в трубопроводы осадков. Конечный результат мероприятия – создание экологически безопасных инженерных сооружений (саркофагов). Для обеспечения самотечного стока ливневых вод поверхность саркофагов должна иметь наклон не менее 2° и систему сборных лотков, по которым воды отводятся в карту № 2 для их доочистки в естественных условиях. Площадь саркофагов может быть использована для постройки легких сооружений (тепличные сооружения, рекреационно-спортивные и т.п.). Второе получаемое сооружение – освободившиеся от осадка карты, полезный объем которых может быть использован в качестве бассейнов для рыборазведения и спортивно-рекреационной деятельности.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенная концепция технологии рекуперации осадков карт ОАО «БЦБК» в основе которой лежит создание условий процессов естественного вымораживания, позволяет не только сократить технико-экономические затраты, но и повысить экологическую безопасность проекта с ожидаемым экологическим эффектом от ликвидации накопленных отходов прошлых лет равным 6.5 млрд руб.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богданов А.В., Федотов К.В., Качор О.Л. Развитие научных и практических основ технологий комплексной переработки осадков карт-шламонакопителей. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2009. 203 с.

2. Богданов А.В., Федотов К.В., Шатрова А. С. Рекуперация осадков карт-накопителей ОАО “Байкальский ЦБК” // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2013. № 10. С. 60–63.
3. Богданов А.В., Шатрова А. С., Качор О. Л. Исследование физико-химических свойств осадков шлам-лигнина ОАО “Байкальский ЦБК” при вымораживании // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2015. № 8. С. 99–107.
4. Государственный доклад “О состоянии озера Байкал и мерах по его охране в 2007 году”. Иркутск: Сибирский филиал ФГУНПП “Росгеолфонд”, 2008. 188 с.
5. Лайнер Ю.А., Мильков Г.А., Тужилин А.С., Перехода С.П., Ветчинкина Т.Н. Перспективы комплексной переработки алюминийсодержащих отходов с получением глинозема, коагулянтов и стройматериалов // Экология и промышленность России. 2013. № 4. С. 10–15.
6. Способ очистки сточных вод / Леонов С.Б., Богданов А.В., Миронов А.П., Иванова М.А. // Пат. 2136599 (РФ). Опубл. 10.09.99. Бюл. № 25. 2 с.
7. Сырьевая смесь для получения гидравлического цемента / Богданов А.В., Левченко Е.А., Шатрова А.С., Воробчук В.А., Ставицкая М.В. // Пат. № 2552288 (РФ). Опубл. 10.06.2015. Бюл. № 16. 10 с.
8. Moisés Frías, Iñigo Vegas, Raquel Vigil de la Villa, Rosario García Giménez “Recycling of Waste Paper Sludge in Cements: Characterization and Behavior of New Eco-efficient Matrices”// *Integrated Waste Management*, 2011. V.II. P. 301–318.
- of scientific and practical bases of technology of complex sediment processing in sludge storage tanks], Irkutsk, Irkutskii Gos. Tech. Univ., 2009. 203 p. (in Russian).
2. Bogdanov, A.V., Fedotov, K.V., Shatrova, A.S. *Rekuperatsiya osadkov kart-nakopitelei* ОАО «Baikal'skii TsBK» [Recuperation of sediments at sludge storage tanks of the Baikal Pulp and Paper Mill]. *Tsellyuloza. Bumaga. Karton*, 2013, no. 10, pp. 60–63 (in Russian).
3. Bogdanov, A.V., Shatrova, A.S., Kachor O. L. *Issledovanie fiziko-khimicheskikh svoistv osadkov shlam-lignina* ОАО «Baikal'skii TsBK» pri vymorazhivanii [The study of physicochemical properties of the precipitation sludge-lignin at the Baikal Pulp and Paper Mill upon freezing]. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2015, no. 8, pp. 99–107 (in Russian).
4. *Gosudarstvennyi doklad. O sostoyanii ozera Baikal i merakh po ego okhrane v 2007 godu* [State report. About Lake Baikal status and measures on its protection in 2007]. Irkutsk, Siberian branch “Rosgeolfond”, 2008, 188 p. (in Russian).
5. Lainer, Yu. A., Mil'kov, G.A., Tuzhilin, A.S. *Perspektivy kompleksnoi pererabotki alyuminiisoderzhashchikh otkhodov s polucheniem glinozema, koagulyantov i stroimaterialov* [Prospects for complex processing of aluminum waste to produce alumina, coagulants and construction materials]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*, 2013, no. 4, pp. 10–15 (in Russian).
6. Leonov, S.B., Bogdanov, A.V., Mironov, A.P., Ivanova, M.A., *Sposob ochistki stochnykh vod* [The way of sewage treatment]. Patent RF, no. 2136599, 1999, Published 10.09.99, Byull. No. 25, 2 p. (in Russian).
7. Bogdanov, A.V., Levchenko, E.A., Shatrova, A.S., Vorobchuk, V.A., Stavitskaya, M. V. *Syr'evaya smes' dlya polucheniya gidravlicheskogo tsementa* [The raw material mixture for hydraulic cement production]. Patent RF, no. 2552288, 2015, Published 10.06.2015, Byull. No. 16, 10 p.
8. Moisés Frías, Iñigo Vegas, Raquel Vigil de la Villa, Rosario García Giménez. Recycling of waste paper sludge in cements: characterization and behavior of new eco-efficient matrices. *Integrated waste management*, 2011, vol. II, pp. 301–318.

## REFERENCES

## DEVELOPMENT OF ENVIRONMENTALLY FRIENDLY TECHNOLOGY OF WASTE UTILIZATION AT THE BAIKAL PULP AND PAPER MILL

A.V. Bogdanov, A.S. Shatrova, O.L. Kachor

*Irkutsk national research technological university,  
ul. Lermontova 83, Irkutsk, 664074 Russia. E-mail: bogdanov.lab@istu.edu*

Currently, the sediments of sludge lignin formed during biological and physicochemical treatment of waste water from pulp and paper industry comprise the bulk of no-recycled waste. Extremely urgent task is the development of environmentally friendly technology for complex processing of these sediments. The developed technology should be based on principles of best available techniques (BAT) for waste management. The environmental monitoring of soils at Solzanskaya industrial site revealed that the content of benzo(a) pyrene 3 times exceeds the maximum permissible concentration, and that of heavy metals, 2–7 times. If an emergency breakthrough of dam storage tanks for sludge takes place at the Baikal Pulp and Paper Mill (caused by earthquake, mudflow or the poor condition of tanks), the pollutants will enter the Lake Baikal in the amount equal to that accumulated during 700 years of the normal operation of the enterprise. Regardless of the selected technique of recycling waste sludge lignin, their volume must be first reduced. This operation will allow proportional reduction in the technical and economic costs. The research performed has shown that freezing sediments destroys its colloidal structure and reduces volume by 30–40%, and moisture by 6–11% depending on the sediment composition. The recycling technology proposed for the Baikal Pulp and Paper Mill sediments of sludge storage tanks, which is based on the creation of natural freezing conditions, will not only reduce the technical and economic costs, but will also improve the environmental safety of the project. The expected ecological effect of recycling waste accumulated during previous years is estimated at 6.5 billion rubles.

**Key words:** *sludge lignin, sludge storage tanks, pulp and paper industry, the Baikal Pulp and Paper Mill, waste utilization, freezing.*