

## ГЕОЭКОЛОГИЯ (НАУКИ О ЗЕМЛЕ)

УДК 502/504

**Использование отходов предприятий  
Пермского края****С.М. Блинов, Е.А. Меньшикова**Пермский государственный национальный исследовательский университет,  
614990, Пермь, ул. Букирева, 15. E-mail: blinov\_s@mail.ru*(Статья поступила в редакцию 11 декабря 2018 г.)*

Рассмотрена возможность расширения ресурсной базы Пермского края за счет использования ряда отходов местных предприятий – АО «Березниковский содовый завод», ПАО «Уралкалий», ПАО «Мотовилихинские заводы», целлюлозно-бумажного производства в г. Краснокамске.

Ключевые слова: *отходы, вторичное использование, сода, шлаки, кора, солеотходы, Пермский край.*

DOI: 10.17072/psu.geol.18.2.179

**Введение**

На протяжении последних десятилетий популярна экологически и экономически оправданная концепция вторичного использования отходов. С 1996 г. в целях реализации Закона № 89-ФЗ «Об охране окружающей природной среды» в России существует Государственная программа «Отходы», основная цель которой – сокращение загрязнения окружающей среды отходами и экономия природных ресурсов за счет максимально возможного вторичного вовлечения отходов в хозяйственное использование. Программа предусматривает снижение объемов образования отходов на основе внедрения малоотходных и безотходных технологий, сокращение видов и объемов токсичных и опасных отходов на основе применения новых технологических решений, повышение уровня использования отходов, их экологически безопасное размещение и др.

В основах государственной политики в области экологического развития России до 2030 г. предполагается раздельный сбор отходов, жесткие санкции за их ненадлежащую утилизацию, поэтапное введение запрета на захоронение отходов, пригодных к вторичной переработке. В ряде регионов разработаны стратегии обращения с отходами, которые предполагают финансирование преимущественно за счёт внебюджетных средств. В

частности, в Пермском крае в 2016 г. краевым Министерством строительства и жилищно-коммунального хозяйства утверждена территориальная схема обращения с отходами производства, в том числе коммунальными.

Достаточная проработка вопросов вторичного использования отходов, прежде всего в строительной отрасли, находит отражение в образовательном процессе. Во многих технических вузах, как правило, для студентов строительных специальностей читаются лекционные курсы по комплексному использованию минерального сырья и отходов промышленности.

Концепция вторичного использования отходов обусловлена постепенным истощением минерально-сырьевых ресурсов, а также появлением новых технологий переработки складированных отходов, что делает отходы пригодными по количеству и качеству для промышленного использования. В рассматриваемом ключе разработан и популярный зарубежный подход «urban mining», при котором городские территории и техногенные отвалы рассматриваются как месторождения будущих ресурсов с оценкой отложенного ресурсного потенциала уже на этапе проектирования производства (Мякишева и др., 2016). Лидерами в реализации этого направления являются Германия, Япо-

ния, Швейцария и Австрия (Park et al., 2017; Schiller et al., 2016).

### Результаты исследований

В общих объемах образования промышленных отходов традиционно ведущее место занимают отходы горнодобывающей отрасли, которая, как правило, технологически совмещается с химической или металлургической переработкой сырья. Предприятием указанного профиля является АО «Березниковский содовый завод» (БСЗ), который осуществляет выпуск соды аммиачным методом и является одним из крупнейших производителей кальцинированной соды в России. Исходным сырьем для производства являются известняки Чаньвинского месторождения и каменная соль Верхнекамского месторождения, используемая для приготовления рассолов.

Аммиачный метод основан на взаимодействии насыщенного водного раствора хлористого натрия и углекислого газа в присутствии аммиака с образованием бикарбоната натрия и последующей его кальцинацией. Источником для получения раствора хлористого натрия служат галитовые отходы калийного производства ПАО «Уралкалий». В 2015 г. на БСЗ внедрена упрощенная схема производства раствора хлористого натрия. Перевозка галитовых отходов до фабрики приготовления рассола заменена на гидротранспорт, что позволило уменьшить количество используемого оборудования и снизить себестоимость раствора. На узле дробления установили станцию приготовления пульпы, где вода и галитовые отходы смешиваются, образуя пульпу, которую перекачивают на фабрику приготовления рассола. В ходе перекачки пульпы в трубопроводе отходы дорастворяются с образованием раствора хлористого натрия. Таким образом, ежегодно утилизируется до 1 млн т галитовых отходов (Пермская ..., 2019).

**Отходы Чаньвинского карьера известняков.** Чаньвинское месторождение (Александровский район Пермского края) разрабатывают карьерным способом, его ежегодная проектная мощность 5 млн т. Добываемый известняк большей частью используется в виде «химического камня» в производстве

кальцинированной соды. Вредным компонентом в составе карбонатного сырья является глина, которая присутствует на месторождении во многих формах, составляя основную часть вскрышных пород и материала, заполняющего различные полости внутри массива известняков. Общее количество глины на месторождении довольно велико и по предварительным расчётам составляет порядка 25-35 млн т. При разработке месторождения глинистый материал концентрируется в отвале, который, по существу, представляет собой техногенное месторождение глины (Чаньвинское ..., 1999).

Результаты гранулометрического, минералогического и силикатного анализов (табл. 1), общего химического анализа водной вытяжки, а также опытов по определению сушильных свойств, параметров набухания и показателей пластичности крупнообъемной пробы глины из отвала рассматриваемого месторождения дают основание утверждать, что технологические свойства глины, а также ее химический состав удовлетворяют требованиям к сырью для производства керамического кирпича и камней. Однако глины содержат крупные карбонатные включения в количествах, значительно превышающих нормы, вследствие чего без дополнительной обработки (удаления карбонатных частиц фракции более 0,5 мм) не могут быть использованы для производства керамических изделий.

Тем не менее изученные глины без какой-либо предварительной подготовки можно использовать в цементной промышленности для получения (в смеси с карбонатными породами) поргландцементного клинкера и для рекультивации породных отвалов шахт Кизеловского угольного бассейна. Кроме того, после выделения песков глины могут быть использованы как материал для производства адсорбентов и буровых растворов. Дальнейшие поиски возможностей использования глины месторождения целесообразно вести в направлении обнаружения в них содержаний мелкого и тонкого золота и платиноидов. Перспективно также проведение анализа на содержание алмазов в глинах, заполняющих крупные карстовые формы.

**Таблица 1.** Минеральный и химический состав глин отвала, мас. %

Минералы	Содержание в пробе		Соединения	Содержание в пробе	
	О-1	О-2		О-1	О-2
Каолинит	20	20	SiO <sub>2</sub> / Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	60,20/18,28	56,36/17,89
Монтмориллонит	30	25	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> / FeO	6,68/0,50	9,53/0,36
Гидрослюды	8	9	TiO <sub>2</sub>	0,71	0,80
Хлорит	< 5	0	MnO	0,08	0,12
Кальцит	3	4	MgO/ CaO	1,37/1,83	1,22/2,68
Кварц	26	30	Na <sub>2</sub> O/ K <sub>2</sub> O	0,31/1,55	0,16/1,45
Полевые шпаты	2	3	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,19	0,19
Гетит	4	7	S (общая)	<0,03	<0,03
Гематит	2	2	CO <sub>2</sub>	0,65	1,30

**Отходы Березниковского содового завода.** В процессе производства соды на БСЗ образуется большое количество отходов. При аммиачном способе получения соды в процессе извлечения аммиака образуется хлорид кальция, который, с одной стороны, является важным побочным продуктом, с другой, стороны составляет большую часть отходов производства. В шламонакопители отходы поступают в виде пульпы, в которой преобладает жидкая фаза (до 98 %). Шламонакопитель расположен на северо-западной окраине г. Березники, на левом берегу Камского водохранилища. Отходы БСЗ складированы в действующей и старой картах шламонакопителя, которые ограничены дамбами из щебня и дресвы известняка. Площадь действующей карты составляет 155 га, старой – около 89 га. По данным бурения и фоновым

материалам, мощность накопленного шлама увеличивается в северо-восточном направлении от 2,5 до 15 м. По ориентировочным расчетам объем шлама в настоящее время превышает 10 млн м<sup>3</sup>.

Жидкая фаза пульпы из производственного цикла характеризуется сильно щелочной средой (рН 12,3) и минерализацией 179 г/л. В составе содержится значительное количество растворенных ионов – хлоридов, сульфатов, натрия и калия, аммония, миграционная способность которых достаточно велика. В старой карте эти компоненты «вымыты» из складированного шлама за счет инфильтрации атмосферных осадков и отсутствия свежих поступлений с пульпой (табл. 2). Отходы старой карты изучались более детально: проведены полевое определение консистенции и лабораторное

**Таблица 2.** Химический состав жидкой фазы пульпы отходов БСЗ (Блинов и др., 2004), мг/л

Место отбора	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Минерализация	рН
Выпуск из производственного цикла	61,0	7 204,6	106 359,0	3,6	н.о.	41 082,0	25 858,9	204,0	180 773,1	12,3
Западная часть действующей карты	36,6	1 883,8	15 251,9	0,4	51,0	5 511,0	45 35,4	13,5	27 283,6	11,1

Примечания: н.о. – не обнаружено; NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Fe<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, Al<sup>3+</sup> анализом не обнаружены.

**Таблица 3.** Химический состав водной вытяжки отходов с поверхности из действующей и старой карт шламонакопителя БСЗ, мг/кг (100 г отходов на 500 мл дистиллированной воды)

Место отбора	Влажность, %	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Сумма солей	рН
Действующая карта	82,9	488,1	12348,7	11912,2	90,0	10,5	10822,1	4184,1	13,0	39868,7	11,8
Старая карта	69,9	30,5	305,0	322,6	24,5	2,9	300,6	78,2	5,4	1069,7	10,4

Примечания: CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Fe<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, Al<sup>3+</sup> анализом не обнаружены.

определение влажности отходов, рентгено-структурный и спектральный анализы, а также анализ водной вытяжки отходов (табл. 3).

По данным рентгеноструктурного анализа, преобладающим минералом складированных отходов БСЗ является кальцит, находящийся в кристаллическом (до 58 %) и скрытокристаллическом состояниях (до 70 %). Его общее количество находится в пределах 79–97 %, причем наибольшее содержание характерно для верхнего слоя мощностью 1–1,5 м. Помимо кальцита в шламе в небольших количествах присутствуют другие карбонаты – арагонит (1–2 %), доломит (до 1 %). Кроме того, в значительных количествах содержится гидроксид кальция (Блинов и др., 2004). Для детального определения состава минеральных примесей карбонатную и щелочную составляющую шлама (кальцит, арагонит, портландит и др.) растворили в HCl. Оставшаяся часть шлама (1–6 %) состоит из геленита – алюмосиликата кальция (30–31 %) – и кварца (10–17 %), присутствуют гематит, плагиоклаз, микроклин.

*Возможность использования отходов БСЗ для нейтрализации шахтных вод.* Кислые шахтные воды и стоки породных отвалов Кизеловского угольного бассейна являются одной из острых экологических проблем Пермского края. Согласно опубликованным данным, объем поступления основных загрязняющих веществ в поверхностные водные объекты Кизеловского угольного бассейна в 2016 г. составил (т/год): сульфатов – 44 888; общего железа – 15 896; алюминия – 535; марганца – 172; цинка – 4,43 (Доклад ..., 2017). Анализ данных многолетних наблюдений указывает на зависимость объемов поступлений загрязняющих веществ от количества атмосферных осадков. В отдельные годы возможно увеличение поступлений на 30–50 % в сравнении со средними многолетними значениями.

Очистка шахтных вод на основе механизма геохимического барьера возможна с применением в качестве реагента отходов БСЗ (Блинов и др., 2003 а). Опытное промышленное опробование метода дало положительные результаты, подтвержденные независимой экспертизой. В результате

нейтрализации рН шахтной воды повышается с 2,5 до 6–7, что удовлетворяет требованиям нормативов всех видов водопользования. В шахтных водах значительно снижается содержание основных загрязнителей. Эффективность очистки от железа и алюминия составляет 90–95 %. Содержание бериллия, цинка, никеля, кобальта, меди, превышающих ПДК в шахтных водах, снижается до значений, удовлетворяющих требованиям к водоемам хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования (Блинов и др., 2003 б). Образующийся осадок можно использовать в качестве добавок к сырью на металлургических и цементных заводах.

Предлагаемый метод эффективен, прост в применении, не требует значительных капитальных затрат. Кроме того, результаты первых предварительных лабораторных исследований и экспериментов показали возможность использования отходов БСЗ для нейтрализации стоков медедобывающих шахт.

*Возможность использования отходов БСЗ для рекультивации серно-кислых ландшафтов.* В районах добычи и переработки полезных ископаемых, содержащих серу, большое распространение получили сернокислые ландшафты. В поверхностных условиях происходит окисление сульфидов и органической серы, в результате чего формируется кислая реакция среды. Составными частями серно-кислого ландшафта на территории Кизеловского угольного бассейна являются нарушенные земли, представленные зонами влияния отвалов и промплощадок, участками прежнего сброса кислых шахтных вод.

Общая площадь нарушенных земель измеряется сотнями гектаров. Проведены лабораторные и натурные эксперименты по восстановлению данных площадей. В процессе эксперимента при совместном использовании отходов БСЗ и активного ила ПАО «Метафракс» на опытном участке площадью 150 м<sup>2</sup> (участок сброса кислой воды шахты «Широковская» Кизеловского угольного бассейна) был создан почвенно-грунтовый слой, на котором в оптимальном соотношении развивались злаки (канареечник) и бобовые (клевер) с фитомассой, соответствующей зональным суходольным паст-

бищам (Доможирова, 2005). Проведенные исследования доказали экологическую безопасность растений (табл. 4). Сопоставление полученных концентраций с максимально допустимым уровнем (МДУ) показало, что концентрации химических элементов в фитомассе, выращенной в опытах, в целом не представляют экологической опасности, поскольку содержания не выходят за рамки

природно-фоновых (Блинов и др., 2003 б). Незначительное превышение МДУ содержания Cr, V, Ti и Sr имеет тенденцию к снижению на второй год наблюдений. Предлагаемый метод эффективен и экономичен, т.к. использование промышленных отходов снижает стоимость мероприятий в 4–6 раз. По результатам этих исследований получен патент (Способ ..., 2006).

**Таблица 4.** Содержание микроэлементов в сухой массе растительности на участке прежнего водоотлива шахты «Широковская»

Вид растительности (год)	Содержание микроэлементов, мг/кг сухой массы											
	Ni	Co	Cr	Mn	V	Ti	Cu	Zn	Mo	Ba	Sr	Zr
<i>Участок относительного фона</i>												
Злаковая	2,9	0,3	0,0	286,2	1,0	9,5	8,6	28,6	0,9	47,7	28,6	4,8
Бобовая	2,4	0,0	0,0	<b>308,0</b>	0,8	8,0	5,6	8,0	0,2	47,8	15,9	3,2
<i>Участок с оптимальным внесением реагента</i>												
Злаковая (1 год/2 год)	3,3	0,3	<b>1,1</b>	110,0	<b>1,7</b>	<b>16,5</b>	11,0	22,0	0,6	16,5	<b>44,0</b>	5,5
	1,4	0,5	0,7	270	1,0	<b>14</b>	6,1	4,7	0,1	34	20	1,4
Бобовая (1 год/2 год)	<b>7,4</b>	0,6	<b>1,8</b>	122,6	1,2	<b>18,4</b>	11,0	49,0	0,9	18,4	<b>61,3</b>	4,9
	4,3	0,8	<b>1,1</b>	217	1,1	<b>16</b>	9,8	9,8	0,5	43	33	2,2
Максимально допустимый уровень*	5,0	1,0	1,0	300,0	1,5	10,0	30,0	60,0	1,0	190,0	37,0	10,0

Примечание: \* МДУ по Кабата-Пендиас и др. (1989).

*Возможность использования отходов БСЗ для раскисления почв.* Кислые почвы занимают обширные площади пахотных земель в России, это особенно касается Волго-Вятского, Уральского районов, Западной и Восточной Сибири. В Пермской сельскохозяйственной академии проведены исследования по возможности использования отходов БСЗ для раскисления почв (Шапошников и др., 2005). Удалось добиться улучшения агрохимических свойств и плодородия почв, повышения урожайности культур.

*Использование отходов БСЗ в производстве сухих строительных смесей.* Твердые отходы содового производства перспективны для использования в составе сухих строительных смесей в качестве наполнителя, т.к. имеют подходящий гранулометрический и химический состав. Проблема подготовки отходов заключается в удалении из их состава растворимых хлоридов и влаги. При хранении шлама «белого моря» под воздействием атмосферных осадков происходит вымывание растворимых хлоридов из поверхностного слоя, содержание становится допустимым для строительных материалов. Специа-

листами БСЗ была изучена кинетика сушки шлама: при уменьшении влагосодержания ниже критического (19–22 %) шлам становится сыпучим. На основании этого выбрано подходящее оборудование, предложено использовать барабанную сушилку, а в качестве сушильного агента – топочные газы от сжигания природного газа (Шапошников и др., 2005).

Перспективно проведение исследований по использованию дистиллерной жидкости (пульпы) в производстве асбестоцементных изделий, тампонажных композиций нефтяных скважин, расширяющих добавок для портландцемента, а также для получения пероксида кальция (Вагапов и др., 2012; Константинова и др., 2013).

**Солеотходы Верхнекамского месторождения.** Современная мировая калийная промышленность ежегодно производит 40–42 млн т продукции, на которую приходится 100–120 млн т твердых отходов в виде галитовых хвостов и глинистых шламов и примерно такое же количество избыточных расолов (Комаров, 2016).

Согласно данным официального доклада «О состоянии и об охране окружающей среды Пермского края» в нашем регионе на конец 2017 г. накоплено 816 млн т отходов, в том числе на объектах ПАО «Уралкалий» – 612,2 млн т. Общая площадь объектов размещения отходов калийной промышленности в Пермском крае, по данным анализа космических снимков 2017–2018 гг., составляет более 1300 га и включает объекты ПАО «Уралкалий» и ООО «ЕвроХим – Усольский калийный комбинат».

Одним из рекомендованных государственным стандартом (ГОСТ Р 55100–2012) в области ресурсосбережения способов обращения с отходами горнодобывающей отрасли с учетом доступности технологии является закладка выработанного пространства подземных горных выработок. Эти мероприятия рассматриваются как одна из стадий технической рекультивации, обеспечивающая снижение затрат на транспорт отходов,

платежей за изъятие земель, воздействие на компоненты окружающей среды (ИТС ..., 2016).

Обобщенные данные по ПАО «Уралкалий» показывают, что закладочные работы являются основным способом использования крупнотоннажных отходов калийной промышленности с направленной тенденцией роста в последние годы (табл. 5). Указанное обусловлено эффективностью обеспечения экологической безопасности отработки солей – сочетанием защиты подземного пространства рудников от затопления, уменьшения оседания земной поверхности, сокращения площадей солеотвалов и шламохранилищ, расширение которых требует значительных финансовых вложений. Разрабатываемые технологии твердеющей закладки (Шкуратский и др., 2015) направлены и на увеличение извлечения солей за счет сокращения междукамерных целиков.

**Таблица 5.** Образование и использование отходов ПАО «Уралкалий» (по данным докладов «О состоянии и об охране окружающей среды Пермского края»)

Год	Объем образования отходов, тыс. т	Использование для приготовления раствора NaCl, тыс. т	Гидрозакалка галитовых отходов и глинисто-солевых шламов, тыс. т	Всего использованные образующиеся отходы, %
2017	32 697	990	13 480	44,25
2016	30 153	910	11 306	40,52
2015	31 272	910	9 560	33,48
2014	34 767	857	6 010	19,75
2013	28 145	842	10 000	38,52
2012	26 705		10 200	38,20
2011	30 059	400	8 300	28,94

В рамках реализации комплексного использования сырья при производстве калийных удобрений осуществляется приготовление рассолов для нужд содового производства, производство технической соли и отгрузка неочищенной технической соли. Шламовые составляющие могут быть использованы в качестве добавок к цементным растворам и бетонам. Кроме того, запатентованы методы извлечения ряда ценных компонентов – золота, платины и других благородных металлов, алмазов, лечебных грязей (Батурин и др., 2012). В глинисто-солевых шламах СКРУ–1 в существенных количествах установлен Sc (Сметанников и др.,

2019), который востребован ядерной энергетикой, космической и авиационной промышленностью. Элемент связан с минералами кальция (гипсом, доломитом, апатитом) нерастворимого осадка солей.

За последнее десятилетие значительно вырос спрос на литий, поскольку этот элемент стал ключевым для развития производства целого ряда промышленных продуктов, особенно аккумуляторов для электронных устройств и электромобилей. Кроме того, отмечена возрастающая потребность в этом элементе стекольной и керамической промышленности, обусловленная сокращением энергетических затрат и облегчением об-

работки продукции при использовании Li (Talens Peiro et al., 2013). При этом в последние 50 лет существенно изменилась структура природных источников его добычи, и в настоящее время за рубежом до 70 % извлечения этого элемента осуществляется за счет эксплуатации рассолов бессточных соляных озер. Поэтому исследования солеотходов и глинисто-солевых шламов на содержание этого металла перспективны.

**Отходы ЦБК в г. Краснокамске.** Размещение отходов целлюлозно-бумажного производства на участке правобережья р. Камы в месте впадения ее притока р. Малая Ласва началось в 30-е гг. прошлого столетия после строительства Камского целлюлозно-бумажного комбината. С началом строительства этого предприятия связано основание г. Краснокамска. В середине 1990-х гг. складирование отходов деревообработки здесь прекращено. В настоящее время площадь короотвала составляет порядка 22 га, общий объем отходов коры и щепы – около 4 млн т. Периодически происходит возгорание отходов, что приводит к задымлению и загрязнению атмосферного воздуха жилой части г. Краснокамска. Так, крупный пожар произошел в марте 2011 г., когда площадь возгорания составила 17 га. По официальным данным Федеральной службы по надзору в сфере природопользования, короотвал включен в Федеральный

реестр объектов накопленного экологического вреда. Таким образом, этот объект подлежит обязательной ликвидации с последующим восстановлением территории (Федеральная ..., 2019).

Данные инженерно-геологического бурения (табл. 6) позволяют обобщенно оценить вещественный состав короотвала. Наибольшая мощность отходов отмечена в его центральной части и достигает 20 м. Подстилающими грунтами выступают аллювиальные гравийно-галечные отложения. Отвал сформирован отходами деревообработки от щепы до тонкого опила различной степени разложения, в отдельных скважинах отмечено присутствие строительного мусора. Степень разложения древесных отходов позволяет говорить о его внутреннем зональном строении. Наибольшей степенью разложения характеризуются средние слои отвала в интервале глубин 3,5–11,5 м, где древесные отходы имеет более мелкий размер, формируют комковатые агрегаты, окраска вещества темная, почти черная. Нижние слои отвала наряду с опилом обогащены гравийно-галечным материалом, древесные отходы здесь характеризуются более низкой степенью разложения, что отражается в доминировании светло-серой окраски в сравнении со средней зоной. Вещество отвала влажное, на отдельных горизонтах содержит свободную воду.

**Таблица 6.** Обобщенные данные инженерно-геологического бурения короотвала ЦБК в г. Краснокамске

Участок короотвала	Номер скважины	Глубина до грунтов основания, м
Прибрежная зона р. Камы	1	14,45
	2	15,55
	3	4,50
Центральная часть	4	19,75
	5	14,25
	6	18,20
	7	14,45
Северная часть	8	11,45
	9	12,10

Очевидно, что переработка отвала возможна за счет привлечения инвестиций. Согласно опубликованным данным (Ширинкина, 2014), существуют следующие группы методов использования кородревес-

ных отходов: термические (сжигание с целью получения тепла, пиролиз с производством древесного угля, газификация с получением генераторного газа); химические (экстракция с извлечением хвойного воска и

дубильных веществ, гидролиз с получением спиртов, дрожжей и других продуктов); биологические (компостирование с получением удобрений и рекультивационных материалов).

С учетом высокой влажности и длительности хранения отходов ЦБК в Краснокамске наиболее реально биологическое направление их использования. Такие технологии разработаны для создания плодородного слоя при рекультивации нарушенных земель под лесохозяйственное использование, а именно для коры длительного срока хранения созданы технологии с дополнительной микробиологической переработкой и последующим применением в качестве рекультивационного материала для нарушенных земель промышленных объектов, благоустройства территорий или производства удобрений. Детальные исследования рассматриваемых кородревесных отходов с целью их дальнейшей утилизации выполнялись и специалистами ЕНИ ПГНИУ (Кудряшов и др., 2005).

**Сталеплавильные шлаки АО «Мотовилихинские заводы».** Metallургический шлак, покрывающий при плавильных процессах поверхность жидкого металла, играет важную роль в металлургических процессах – усваивает всплывающие примеси, защищает металл от вредного воздействия газовой среды печи и др. Он формируется из флюсовых добавок к рудному сырью, золы топлива, всплывающих продуктов физико-химических реакций плавления, подлежащих удалению. Из металлургических шлаков традиционно широко используются доменные шлаки – прежде всего в качестве строительных материалов при изготовлении бетонных и шлакобетонных изделий, производстве цемента, дорожно-строительных работах. Сталеплавильные шлаки применяются значительно меньше. При этом удельный выход только сталеплавильного шлака составляет в среднем от 150 до 200 кг/т стали, что соответствует ежегодному увеличению шлаковых отвалов в масштабах всей планеты на 200–300 млн т (Паршин, 2013).

С целью возможного вторичного использования авторами были исследованы металлургические шлаки отвала ООО МЗ «Кама-

сталь», которое производит в холдинге ПАО «Мотовилихинские заводы» сталь, штамповки, горячекатанный сортовой прокат. Отвал расположен на первой левобережной надпойменной террасе р. Камы.

Шлаковый материал из отвала представляет собой гетерогенный грунт черного цвета с обломками кирпича, угля, кусками шлакового материала разной степени разрушения, полиэтиленовой пленки, металлической проволоки, галькой и древесными остатками. Согласно данным ситового анализа, в составе шлакового материала отвала преобладают три фракции –  $> 10$  мм,  $0,5–0,25$  мм,  $< 0,1$  мм, содержания которых количественно очень близки и составляют 17 %. По ГОСТ 25100–2011 грунты отвала относятся к классу дисперсных грунтов, подклассу несвязных, подгруппе антропогенно образованных грунтов техногенного типа. Гранулометрические разновидности данных грунтов выделяются по аналогии с природными грунтами, и по вышеуказанному документу материал отвала соответствует гравелитистым пескам, по показателю неоднородности гранулометрического состава ( $C_u$ ) грунты неоднородные.

Визуальный анализ состава различных фракций в грунтах отвала (табл. 7) показал явное преобладание шлакового материала, содержание которого в крупноразмерных (более 2 мм) фракциях составляет 60–66 %, фракциях менее 2 мм – 10–29 %. Как в крупных фракциях, так и в мелкоразмерных преобладают окисленные разновидности ржавой окраски со значительным содержанием металлической составляющей.

Кроме шлакового материала в отвале присутствуют обломки строительных материалов – бетона, кирпича, стекла (суммарное содержание до 17 %), в мелкоразмерных фракциях отмечено высокое содержание кварца (до 73 %). Присутствие полевых шпатов, гранатов обусловлено разрушением исходных материалов и включений. Исходя из особенностей вещественного состава отдельных фракций, отвал использовался не только для размещения шлаков, но и как полигон для складирования строительного мусора, а также мусора при уборке территории предприятия.

Таблица 7. Вещественный состав грунтов отвала, % в соответствующей фракции

Компоненты	Фракции, мм						
	> 10	5–10	2–5	2–1	1–0,5	0,5–0,25	0,25–0,1
<i>Техногенные продукты</i>							
Кирпич	6,2	2,4	1,3	1,2	2,4	0,5	–
Уголь	2,78	1,66	4,89	2,0	2,6	2,6	1,2
Стекло	–	1,0	0,45	–	–	–	–
Древесина	0,68	2,16	7,4	8,6	6,2	9,3	15,6
Обломки бетона	11,45	5,68	–	0,6	–	–	–
Магнитные сферулы	–	–	–	1,8	0,8	0,6	–
Шлак	65,98	63,39	60,39	28,8	26,0	10,0	20,0
<i>Минералы и горные породы</i>							
Кварц	–	–	–	47,0	54,2	73,2	58,8
Руда	5,74	0,79	–	6,8	4,4	0,4	0,4
Гранаты	–	–	–	–	0,2	0,4	0,8
Карбонаты	7,17	17,15	18,13	3,2	1,4	1,8	2,4
Полевые шпаты	–	5,77	5,44	–	1,8	1,2	0,8

Примечание: характеристика крупнозернистой фракции (более 2 мм) дана на основе метода определения крупнозернистых включений с использованием весов; состав фракций 2–0,1 мм охарактеризован с использованием количественного минералогического анализа (в дорожке из 500 зерен).

Согласно данным силикатного анализа, состав шлакового материала отвала характеризуется преобладанием диоксида кремния – 70,3 %, значительным содержанием оксидов железа – до 12,9 % общего железа с практически равным содержанием двухвалентной и трехвалентной форм. Содержание оксида алюминия – 4,8 %, оксида магния и кальция 2,37 и 1,75 % соответственно. Присутствуют  $TiO_2$ ,  $P_2O_5$ , щелочи ( $Na_2O$  и  $K_2O$ ) и др. Потеря при прокаливании 6,47 %. Величина модуля основности шлакового материала низкая и составляет – 0,02, что обусловлено особенностями складированного материала – сочетание измененных в поверхностных условиях шлаков и строительного мусора.

Согласно данным рентгенофазового анализа, основа минерального состава представлена кварцем (более 50 %), в равных количествах (10–15 %) присутствуют гематит и кальцит. Кроме того, отмечены магнетит, кристобалит, шамозит, реликты полевого шпата (первые проценты). Полученные данные в целом соответствуют анализу вещества отвала под биноклем. В составе грунтов отвала определены следующие микроэлементы (мг/кг): Mn, Cr и Zn (3000), Ti (2000), P (700), Ni и Cu (500), Ba и Zr (400), Pb (300), As и Sr (менее 100), V (90), Mo (60), Sn (50), Y (30), Sb (менее 30), Co и W (20),

Ga (15), Nb и Cd (10), Sc (4), Yb (3), Ge (1,8), Be (1), Ag (0,7). Водная вытяжка грунтов характеризуется нейтральной средой и незначительным содержанием водорастворимых солей (до 1,5 г/кг). Среди определенных микроэлементов в водорастворимой форме присутствуют (мг/кг грунта): Cu – до 0,5; Zn – до 0,08; Cr – до 0,01.

Согласно проведенным исследованиям, шлаковый материал из отвала представляет собой гетерогенный грунт, сложенный измененными в поверхностных условиях шлаковым материалом, строительным мусором и составляющими металлургического процесса. Присутствие посторонних засоряющих примесей в сочетании со значительной потерей при прокаливании (6,47 %) и значительным содержанием оксидов железа ограничивает его использование в качестве сырья для производства строительных материалов.

Таким образом, важнейшее значение в схеме вторичного использования отходов приобретает их отдельное складирование. Минералогический анализ исходного шлака с производства показал преобладание в его составе ларнита (ортосиликата кальция –  $Ca_2[SiO_4]$ ), что в сочетании с высоким модулем основности ( $CaO/SiO_2$  – 1,98) позволяет отнести его к самораспадающимся шлакам. Последние способны изменяться в гиперген-

ных условиях с течением времени и формировать фазы, пригодные к использованию в производстве цемента.

С учетом минимизации воздействия на окружающую среду наиболее рациональным путем использования сталеплавильных шлаков будет исключение из технологической цепочки сталеварения вывоза шлаков в отвалы и организация их переработки прямо на производстве. Такие работы реализованы на базе ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина» для переработки жидких сталеплавильных шлаков (Паршин, 2013). При этом промышленное внедрение технологии обеспечивает снижение себестоимости стали на 65–88 руб./т. Полученный щебень из шлаков не требует вылеживания в отвалах, дает ценную товарную фракцию 5–40 мм с низкой влажностью (до 3 %).

Именно направления так называемого «бесшлакового» производства стали с максимальной оптимизацией технологических процессов и организацией переработки шлаков непосредственно на сталелитейном производстве активно реализуются по многим странам мира (Šešnovar et al., 2019; Dervis et al., 2019; Dirpenaar, 2004; Jiao Ma et al., 2018).

## Заключение

В настоящее время в Российской Федерации научные разработки использования отходов различных отраслей ведутся на региональном уровне, на отдельных предприятиях, в созданных в последние годы ассоциациях и т.п. При этом проекты направлены на экономически обоснованную переработку отходов. Однако значительная часть уже созданных разработок остается нереализованной из-за отсутствия материальных и финансовых средств на развитие перерабатывающих производственных мощностей.

По опыту зарубежных стран толчком в развитии этого направления должны стать государственные меры экономического стимулирования и экономического воздействия – платежи за загрязнение окружающей среды, штрафы и санкции за нарушение экологического законодательства и т.п. Решение проблемы переработки многотоннажных и многокомпонентных отходов, а также отхо-

дов, требующих создания специализированных предприятий по их переработке, возможно в рамках региональных и федеральных программ. Решению задачи использования отходов многочисленных предприятий Пермского края, несомненно, способствует использование научного потенциала двух национальных исследовательских университетов края.

## Библиографический список

Батурин Е.Н., Меньшикова Е.А., Блинов С.М., Наумов Д.Ю., Белкин П.А. Проблемы освоения крупнейших калийных месторождений мира // *Современные проблемы науки и образования*. 2012. № 6.

Блинов С.М., Максимович Н.Г. Методологические основы применения геохимических барьеров для охраны окружающей среды // *География и окружающая среда*. СПб., 2003 а. С. 294–304.

Блинов С.М., Потапов С.С., Найданова Н.Ф. Формирование техногенного месторождения тонкодисперсного карбоната кальция в пределах шламонакопителя Березниковского содового завода // *Минералогия техногенеза: доклады IV семинара*. Миасс, 2004. С. 80–92.

Блинов С.М., Швалев В.Н. Метод улучшения экологической ситуации в районах складирования отвалов угольных шахт // *Проблемы минералогии, петрографии и металлогении: матер. IV Всерос. науч. чтений памяти ильменского минеролога В.О. Полякова*. Миасс, 2003 б. С. 89–92.

Вагапов Р.Ф., Симицин Д.А., Оратовская А.А., Тэненбаум Г.В. Строительные материалы на основе промышленных отходов республики Башкортостан // *Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета*. 2012. № 4. С. 279–284.

Доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Пермского края в 2016 году». Пермь, 2017. 222 с.

Доможирова С.А. Разработка метода улучшения экологической ситуации на участках прежнего сброса кислых шахтных вод Кизеловского угольного бассейна с использованием в качестве реагентов промышленных отходов // *Материалы VI межвуз. молодеж. науч. конф. «Школа экологической геологии и рационального недропользования»*. СПб., 2005. С. 224–226.

ИТС 16-2016 «Горнодобывающая промышленность. Общие вопросы и методы». Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. М.: Бюро НТД, 2016. 220 с.

Комаров Ю.А. Обоснование технологии высотного складирования пород-отходов при разработке калийных месторождений: дис. ... канд. техн. наук: 25.00.22. СПб., 2016. 162 с.

Константинова М.С., Калинина Е.В. Исследование возможности использования дистиллерной жидкости в качестве жидкого противогололедного материала // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Урбанистика. 2013. № 4. С. 134–143.

Кудряшов С.Ф., Филиппова Л.П., Кудряшова О.С. Изучение свойств кородревесных отходов с целью их дальнейшей утилизации // Эколого-экономические проблемы освоения минерально-сырьевых ресурсов: тез. докл. Международной научной конференции / ФГНУ «Естественнонаучный институт», ГОУ ВПО «Пермский государственный университет», Департамент промышленности и науки администрации Пермской области. Пермь, 2005. С.181–182.

Мякишева А.В., Ташикина И.Н. Теоретические основы оценки отложенного ресурсного потенциала промышленных объектов на урбанизированных территориях // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. 2016. Т.1. С.201-204.

Паршин В. Дошли до отвала // Российская газета: спецвыпуск – металлургия. 8 ноября 2013 г. № 6228. [Электронный ресурс]. URL: <https://rg.ru/gazeta/rg-spec/2013/11/08.html> (дата обращения: 12.01.2019).

Пермская деловая газета «Бизнес класс». 2017. № 39 (643). 23 октября [Электронный ресурс]. URL: <http://www.business-class.ru> (дата обращения: 12.01.2019)

Сметанников А.Ф., Оносов Д.В. О возможности концентрирования скандия из отходов калийного производства // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Науч. чтения памяти П.Н. Чирвинского: сб. науч. статей / Перм. гос. ун-т. Пермь, 2019. Вып. 22. С.353-358.

Способ рекультивации нарушенных земель: Пат. RUS 2336684 30.11.2006 / Блинов С.М., Хозяйкин А.И., Усольцева С.П., Доможирова С.А.

Чаньвинское месторождение известняков / под ред. А.И. Кудряшова, В.И. Фомина, В.П. Колесникова. Пермь: Типография купца Тарасова, 1999. 82 с.

Шапошников Я.Б., Белкин А.В., Кошев Г.Я. Рациональное природопользование, ресурсосберегающие и природоохранные технологии при освоении минерально-сырьевых ресурсов // Эколого-экономические проблемы освоения мине-

рально-сырьевых ресурсов. Пермь, 2005. С. 85–89.

Ширинкина Е.С. Минимизация негативного воздействия кородревесных отходов целлюлозно-бумажной промышленности на окружающую среду // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. 2014. №2. С.108–118.

Шкуратский Д.Н., Русаков М.И. Использование отходов производства калийных удобрений в породных смесях для закладки выработанных пространств // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2015. Вып.3. С.87-97.

Федеральная экологическая информация Пермского края. Федеральная служба по надзору в сфере природопользования [Электронный ресурс]. URL: <http://rpn.gov.ru/node/5911> (дата обращения: 18.01.2019).

Češnovar, M, Traven K, Horvat B, Ducman, V. The Potential of Ladle Slag and Electric Arc Furnace Slag use in Synthesizing Alkali Activated Materials; the Influence of Curing on Mechanical Properties // Materials. 2019. Vol. 12. 1173. doi:10.3390/ma12071173.

Dervis Ozkan et al. // Materials Today: Proceedings. 2019. Vol.11. P.516–525. doi:10.1016/j.matpr.2019.01.023.

Dippenaar R. Industrial uses of slag – The use and re-use of iron and steelmaking slags // VII International Conference on Molten Slags Fluxes and Salts, The South African Institute of Mining and Metallurgy, 2004. doi: 10.1179/174328105X15805.

Jiao Ma et al. Utilization of converter steel slag by remelting and reducing treatment // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 382 (2018) 022088. doi:10.1088/1757-899X/382/2/022088.

Park J.K., Mahoney J., Clark T., Krueger N. A Review of Urban Mining in the Past, Present and Future // Adv. Recycling Waste Manag. 2017. Vol.2. 127. doi:10.4172/2475-7675.1000127.

Schiller G. et al. Mapping the anthropogenic stock in Germany: Metabolic evidence for a circular economy. Resour Conserv Recy (2016). doi: 10.1016/j.resconrec.2016.08.007.

Talens P.L., Villalba M.G., Ayres R.U. Lithium: Sources, Production, Uses and Recovery Outlook // JOM. 2013. Vol. 65. 986. doi:10.1007/s11837-013-0666-4.

# Utilisation the Industrial Wastes in Perm Region

**Blinov S.M., Menshikova E.A.**

Perm State University, 15 Bukireva Str., Perm 614990, Russia

E-mail: blinov\_s@mail.ru

The authors consider the possibility of expanding the resource base of the Perm region using utilisation of the wastes of local industrial facilities. Feasibility of reuse of the wastes dumped by the Berezniki soda Plant, Uralkali Ltd, Motovilikha plants, Krasnokamsk Pulp and Paper Plant was analyzed. This article is based on the authors' own research and published information.

Key words: *waste; secondary use; soda; slag; bark; salt tailings; Perm region.*

## References

- Baturin E.N., Menshikova E.A., Blinov S.M., Naumov D.Yu., Belkin P.A.* 2012. Problemy osvoeniya krupneyshikh kaliynykh mestorozdeniy mira [Problems of development of the largest potash world deposits]. *Sovremennye problem nauki i obrazovaniya*. 6. (in Russian)
- Blinov S.M., Maximovich N.G.* 2003. Metodicheskie osnovy primeneniya geokhimicheskikh baryerov dlya okhrany okryzhayshchey sredy [Methodological basis of application of geochemical barriers for environmental protection]. *In Geografiya i okryzhayushchaya sreda*. SPb, pp. 294-304. (in Russian)
- Blinov S.M., Potapov S.S., Naydanova N.F.* 2004. Formirovanie tekhnogenogo mestorozhdeniya tonkodispersnogo karbonata kaltsiya v predelakh shlamonakopitelya Beresnikovskogo sodovogo zavoda [Formation of technogenic deposits of finely dispersed calcium carbonate in the slurry tailings of the Berezniki Soda Plant]. *In Mineralogiya tekhnogeneza*. Miass, pp.80-92. (in Russian)
- Blinov S.M., Shvaley V.N.* 2003. Metod uluchsheniya ekologicheskoy situatsii v rayonakh skladirovaniya otvalov ugolnykh shakht [Method of improving the environmental situation in the areas of coal mine dumps]. *In Problemy Mineralogii, petrografii i metallogenii*. Miass, pp. 89-92. (in Russian)
- Vagapov R.F., Sinitsin D.A., Oratov A.A., Tenenbaum, G.V.* 2012. Stroitelnye materialy na osnove promyshlennykh otkhodov respubliky Bashkortostan [Building materials on the basis of industrial wastes of the Republic of Bashkortostan]. *Kazan State University of architecture and construction*. 4:279-284. (in Russian)
- Doklad o sostoyanii i ob okhrane okryzhayushchey sredy Permskogo kraya v 2016 gody* [Report on the State and environmental protection of the Perm region in 2016]. Perm, 2017. p. 222. (in Russian)
- Domozhirova S.* 2005. Rasrabotka metoda ulychsheniya ekologicheskoy situatsii na uchastkakh prezhnego sbrosa kislykh shakhtnykh vod Kize-lovskogo ugolnogo basseyna s ispolsovaniem v kachestve reagentov promyshlennykh otkhodov [The Development of a method of improving the environmental situation in the areas of former discharge of acid mine waters of the Kizel coal basin with the use of industrial wastes as reagents]. *In Shkola ekologicheskoy geologii i ratsionalnoe nedropolzovanie*. SPb., pp. 224-226. (in Russian)
- ITS 16-2016 Gornodobyvayshchaya promyshlennost. Obshchiye voprosy i metody* [ITS 16-2016 Mining industry. General problems and methods]. Moskva. Byuro NTD, 2016, p. 220. (in Russian)
- Komarov Yu.A.* 2016. Obosnovanie tekhnologii skladirovaniya porod-otkhodov pri razrabotke kaliynykh mestorozdeniy [Rationale of technology of waste rocks storage during the development of potash deposits]. *Dis. kand. tech. sci.*, SPb., p. 162. (in Russian)
- Konstantinova M.S., Kalinina E.V.* 2013. Issledovaniya vozmozhnosti ispolzovaniya distillernoy zhidkosti v kachestve protivogolodnogo materiala [Study of possibility of using a distiller liquid as a deicing material]. *Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo universiteta. Urbanistika*. 4:134-143. (in Russian)
- Kudryashov S.F., Filippov L.P., Kudryashova O.S.* 2005. Isychenie svoystv korodrevesnykh otkhodov s tselyu ikh dalneyshey utilizatsii [Study of properties of wood wastes for further utilization]. *In Ekologo-economicheskie problemy osvoeniya mineralno-syryevykh resursov*. Institute of Natural Sciences. Perm State University. Perm, pp. 181-182. (in Russian)
- Myakisheva A.V., Tashkinova I.N.* 2016. Teoreticheskie osnovy otsenki otlozhennogo resursnogo potentsiala promyshlennykh obyektov na urbanizirovannykh territoriyakh [Theoretical basics of estimation of delayed resource potential of industrial facilities in urban areas]. *In Modernizatsiya i nauchnye issledovaniya v transportnom komplekse*. Vol.1, pp. 201-204. (in Russian)

Parshin V. (8 November 2013) Doshli do otvala [Reached the Dump]. *Rossiyskaya gazeta*. Spetsialnyy vypusk – metallurgiya. Retrieved from <https://rg.ru/gazeta/rg-spec/2013/11/08.html>

Perm business newspaper. *Business class* (23 October 2017) Retrieved from <http://www.business-class.su>

Smetannikov A.F., Onosov D.V. 2019. O vosmosnosti koncentrirovaniya Sc iz otkhodov kalinyogo proizvodstva [Possibility of Sc concentration from the wastes of potash production]. In *Problemy Mineralogii, Petrografii i Metallogeny*. PSU. Perm. 22:353-358. (in Russian)

Blinov S.M., Khozaykin A.I., Usoltseva, S.P., Domozhirova A.S. 2006. Metod rekultivatsii narushennykh zemel [Method of reclamation of disturbed lands]. Pat. RUS 2336684 30.11.2006. (in Russian)

Chanvinskoye mestorosdenie isvestnyakov [Chanvinskoye limestone deposit]. A.I. Kudryashov et al (Eds.). Perm, Tipografiya kuptsa Tarasova, 1999, p. 82. (in Russian)

Shaposhnikov J.B., Belkin A.V., Koshev G.Y. 2005. Razionalnoe prirodopolzovanie, resyrsosberegayushchie i prirodookhrannyye tekhnologii pri osvoenii mineralno-syrevykh resyrsov [Rational use of the natural resources, resources saving and environment protecting technologies in the mineral development]. In: *Ekologo-ekonomicheskiye problemy osvoeniya mineralno-syrevykh resyrsov*. Perm. pp. 85-89. (in Russian)

Shirinkina E.S. 2014. Minimizatsiya negativnogo vosdeystviya korodrevesnykh otkhodov tsellyulozno-bumazhnoy promyshlennosti na okruzhayushchuy sredu [Minimizing the environmental impact of bark and wood waste of pulp and paper industrial facilities]. *Vestnik PNRTU. Prikladnaya ekologiya. Urbanistika*. 2:108-118. (in Russian)

Shkuratskiy D.N., Rusakov M.I. 2015. Ispol-zovanie otkhodov proizvodstva kaliynykh udobreniy

v porodnykh smesyakh dlya zakladky vurabotannykh prostranstv [Use of wastes of the potash fertilizers production in the rock mixtures for filling the mined spaces]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle*. 3:87-97. (in Russian)

*Federalnaya ekologicheskaya informatsiya* Permskogo kraya [Federal environmental information of Perm region]. *Federalnaya sluzhba po nadzoru v sfere prirodopolzovaniya*. Retrieved from [rpn.gov.ru/node/5911](http://rpn.gov.ru/node/5911).

Češnovar, M, Traven K, Horvat B, Ducman, V. 2019. The potential of ladle slag and electric arc furnace slag use in synthesizing alkali activated materials; the influence of curing on mechanical properties. *Materials*. 12, 1173. doi:10.3390/ma12071173.

Dervis Ozkan et al. 2019. *Materials Today: Proceedings* 11:516–525. doi:10.1016/j.matpr.2019.01.023.

Dippenaar R. 2004. Industrial uses of slag – The use and re-use of iron and steelmaking slags. VII International Conference on Molten Slags Fluxes and Salts, The South African Institute of Mining and Metallurgy. doi: 10.1179/174328105X15805.

Jiao Ma et al. 2018. Utilization of converter steel slag by remelting and reducing treatment. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 382 022088. doi:10.1088/1757-899X/382/2/022088.

Park J.K., Mahoney J., Clark T., Krueger N. 2017. A Review of Urban Mining in the Past, Present and Future. *Adv. Recycling Waste Manag.* 2:127. doi:10.4172/2475-7675.1000127.

Schiller G., et al., 2016. Mapping the anthropogenic stock in Germany: Metabolic evidence for a circular economy. *Resour Conserv Recy.* doi: 10.1016/j.resconrec.2016.08.007.

Talens Peiro L., Villalba Mendez G., Ayres R.U. 2013. Lithium: Sources, Production, Uses, and Recovery Outlook. *JOM* 65:986. doi: 10.1007/s11837-013-0666-4