

А.Н. Меркурьев, А.И. Матвеев

# ПРОБЛЕМЫ ОБОГАЩЕНИЯ АЛМАЗОСОДЕРЖАЩИХ ПЕСКОВ НА РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ СЕВЕРО- ЗАПАДНОГО РЕГИОНА ЯКУТИИ НА ПРИМЕРЕ РАБОТЫ АО «АЛМАЗЫ АНАБАРА»

**Аннотация.** АО «Алмазы Анабара» разрабатывает ряд россыпных месторождений алмазов на Северо-Западном регионе Республики Саха (Якутия). Ключевую роль при добыче алмазов занимает передел обогащения песков. В статье приводятся вехи развития технологии обогащения в компании от геологических отсадочных джиг до современных сортировочных обогатительных комплексов. Создание сортировочных комплексов стало возможным за счет применения рентгенолюминесцентной сепарации для крупных классов и тяжелосреднего обогащения для основного обогащения продуктивных классов крупности. Кроме этого, компания попутно добывает золото и платину из хвостов комплекса на шлюзах мелкого наполнения. Создание мобильных комплексов позволяет концентрировать переработку концентратов и создать мощные доводочные фабрики. Показаны технические возможности повышения эффективности процессов как обогащения, так и доводки концентратов. Опыт освоения месторождений в части решения, возникающих в процессе эксплуатации месторождений позволяет находить все новые эффективные решения в технологии обогащения песков, что улучшает финансовые возможности предприятия.

**Ключевые слова:** россыпные месторождения, обогащение, сортировочный комплекс, алмазы, золото, сепарация.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-12-0-185-191

АО «Алмазы Анабара» разрабатывает ряд россыпных месторождений алмазов, среди которых «Маят» (1998), Олом (2004), Кула (2004), Курун Юрях (2006), Мороор (2005), Эбеях (2008), Талахта (2015), Большая Куонамка (2016), Молодо (2013), Учах Ытырбат (2018).

Ключевую роль при добыче алмазов занимает передел обогащения песков. В начале деятельности АО «Алмазы Анабара» (1998) процессы обогащения алмазосодержащих песков были связаны с гравитационными методами обогащения, в частности с отсадкой. Поскольку начало работ было связано с геологоразведочными работами, то основным

«орудием» обогащения была простейшая примитивная ручная отсаживающая машинка — «Джигга», представляющая собой сито на пружине, помещенной в полубочку с водой. Предварительно отклассифицированный по классам крупности материал поочередно отсаживался, а с полученной тяжелой фракции кристаллы алмазов извлекались вручную.

В последующем, с переходом на добычные работы, существенно увеличались объемы промывки песков, что связано с применением промышленного обогатительного оборудования — отсадочных машин ТРУД — 3 м, МОД-1, 2, 4. Сами промывочные фабрики представ-

ляли собой простейшую установку с предварительной классификацией песков по классам крупности и обогащением на отсадочных машинах. Главная проблема данных установок — это обогащение крупных классов +10 мм и более, качество отсадки оставляла желать лучшего, нередко основной задачей было просто пропустить физически их через машину, не особо следя за качеством. Содержание крупных кристаллов в исходных песках очень низкое, что делало данный процесс практически неконтролируемым [1].

Внедрение рентгенолюминесцентных сепараторов марок РМДС, Полюс-К, машин производства «Буревестник» серии РЛС при их достаточной производительности до 100 т/ч и высокой степени извлечения до 99% решило проблему обогащения крупных классов от +10 мм и выше. В последующем на предприятии массово использовались данные сепараторы для извлечения всех классов крупности, особенно при доводке тяжелой фракции, полученной при отсадочной технологии обогащения на фабриках. В настоящее время ведутся работы по усовершенствованию рентгенолюминесцентной сепарации в сторону увеличения селективности и качества разделения [2]. С внедрением в современных РЛС более селективных режимов разделения, было достигнуто увеличение такого показателя обогащения, как сокращение, т.е. уменьшение выхода концентрата при сохранении уровня извлечения, что не могло не сказаться и на качестве доводки концентратов.

В последующем проблемой стало качество отсадочной технологии, низкий уровень извлечения, например, до 60% класса -2+1 мм. Кроме того, с увеличением объемов промывки песков в надрешетном варианте отсадки возросла интенсивность ручного труда (съемка тяжелой фракции с отсадочных машин

производилась вручную). При доводке концентратов из-за наличия в них люминесцирующих минералов, таких как циркон, некоторых видов доломитов появились и проблемы переработки концентратов, что приводило к увеличению ручного труда — сортировщики вручную просматривали очень большой объем материала — это снизило качество работы и извлечение ценного компонента.

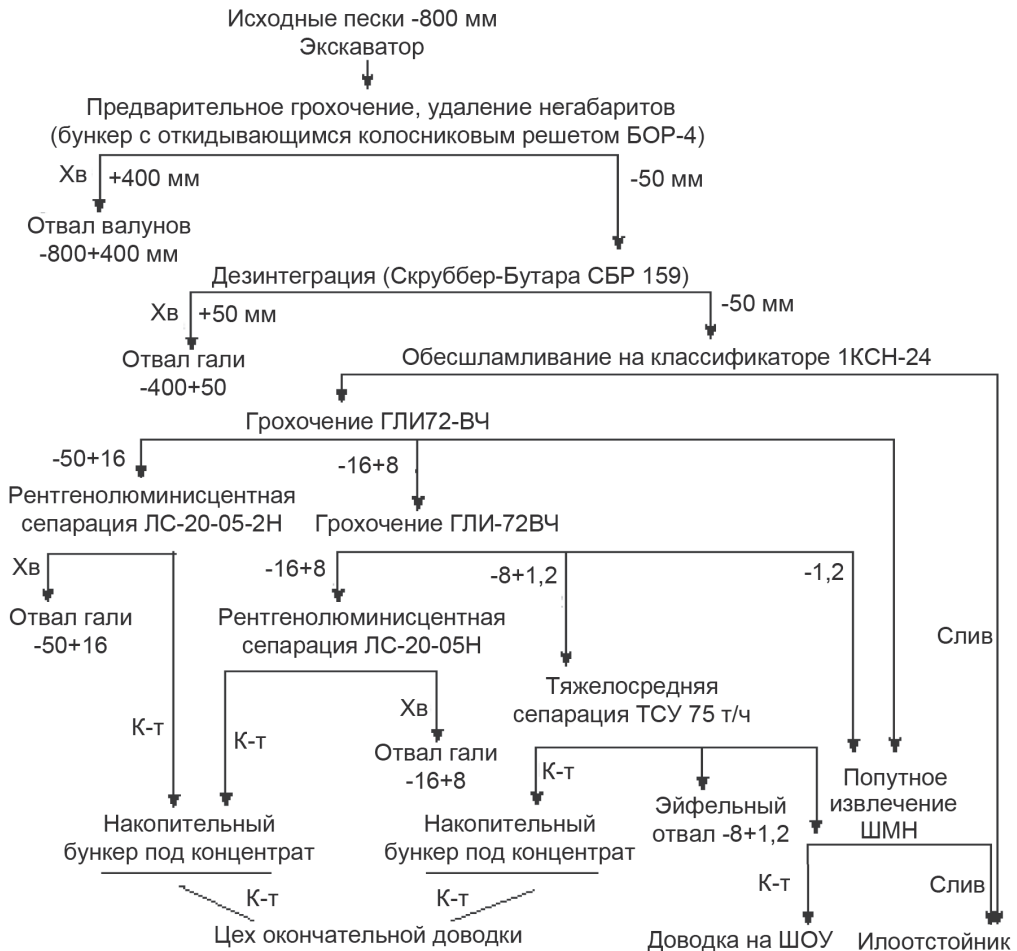
С применением технологии обогащения в тяжелой среде с 2008 г. с использованием порошка ферросилиция предприятие шагнуло на новый рубеж качества, извлечение ценного компонента увеличилось до 99%, против 93% при использовании отсадочной технологии [3]. При этом отпала необходимость узкой классификации по крупности, ушла в прошлое система грохочения. Тяжелосредние установки без потери качества стали обрабатывать довольно высокий диапазон продуктивного класса крупности -25+1 мм. Одним из главных условий для достижения плановой производительности и уровня извлечения тяжелосредней сепарации является ограничение содержания шламов менее 0,5 мм в пределах 5%. При увеличении содержания шламов в исходном питании происходит загрязнение ими среды с падением плотности, следовательно, и производительности, в целом [4, 5]. С внедрением в схему обогатительных установок с современной просеивающей поверхностью с возможностью самоочистки и высокочастотных грохотов марок ГИСТ72ВЧ удалось обеспечить тяжелосредние установки качественным питанием.

Этот период характеризуется поиском наиболее качественных порошков ферросилиция, в том числе в рамках импортозамещения. Порошок ферросилиция представляет собой сплав металла с добавками, главные требования к эксплуатации — стойкость к коррозии и окислению (долговечность), стабильная плот-

ность, стабильные магнитные свойства [6]. Без этих свойств трудно добиться равномерной плотности среды и ее регенерации. И это стала для компании основанием для поиска и испытаний разных вариантов продукции. Более того, использование оборотного водоснабжения усиливает снижение качества и повышение расхода ферросилиция [7].

Были испытаны порошки 6–8 производителей, таких как ДМС Паудерс, Эмиксар, китайских производителей и российский ООО «Порошковые технологии» и другие. Данные испытания, прове-

денные силами специалистов компании позволили выявить лучший порошок — фирмы ДМС Паудерс, по соотношению цена-качество. Отечественный производитель создал рабочий продукт по цене немногим уступающий импортному аналогу, но к сожалению, при использовании наблюдается сравнительно большой расход 120–130% на тонну песка по сравнению с ДМС Паудерс. Наиболее худшие результаты у китайских производителей, характеризуется неравномерным составом и большим расходом на тонну песка.



Технологическая схема сортировочного комплекса  
Sorting plant diagram

Все эти новые решения позволили разработать высокоэффективные сортировочные комплексы, которые позволяют в автономном режиме существенно сократить исходный материал непосредственно на месте ее добычи [8]. По сути такие комплексы решают проблему обогащения, в целом, не прибегая к строительству обогатительных фабрик.

Наиболее рациональной схемой сортировочного комплекса является рентгенолюминесцентная сепарация классов крупности  $-50+16$  мм,  $-16+8$  мм и тяжелосредняя сепарация класса  $-8+1$  мм (рисунок). Создание таких комплексов позволило увеличить производительность на 15–20% и существенной разгрузки цеха доводки до 15–20%, при сохранении уровня извлечения. Кроме того, снижение количества оборудования, упрощение схемы обогащения позволило сэкономить во всем: в потреблении электроэнергии и технологической воды, в эксплуатационных затратах, в габаритах и весе установки. Одни только сроки службы проточной части насосов увеличились в 2–4 раза.

Процесс совершенствования технологии обогащения песков в настоящее время продолжается. На данном этапе развития предприятия ищутся новые решения в обогащении. Например, вызывает интерес новый сепаратор «Томра», основанный на рентгенографическом методе обнаружения алмазов крупностью до 6 мм (ограничивается техническими возможностями, но работы ведутся по уменьшению обрабатываемого класса) [9]. Испытания в головной компании «Алроса» опытного образца показали работоспособность сепаратора. Но стоимость сопоставимая с тяжелосредней установкой производительностью 100 т/ч при недостаточном охвате всего класса  $-50+1$  мм, поступающей на переработку заставляет поспешных решений не принимать.

В связи с получением лицензии на право попутной добычи золота и металлов платиновой группы, ранее направляемых в илоотстойник, с 2017 г. на месторождениях «Эбелях» и «Большая Куонамка», в состав сортировочных установок были добавлены в схему обогащения шлюзы мелкого наполнения для класса  $-1+0,074$  мм. Всполоск шлюзов производится один раз в сутки. Были апробированы двухразовые съемки концентрата, но особого увеличения выхода золота не наблюдалось. В связи с трудоемкостью процесса всполоска и оптимизацией штата оставили вариант — один раз в сутки. Также были апробированы различные виды трафаретов, ковриков, режимов работы шлюзов мелкого наполнения [10].

Наиболее оптимальным показали себя трафареты просечные производства ЗАО «Усолье Сибирское машиностроительного завода», коврики с уловителями наклонного типа, угол наклона шлюзов  $4-6^\circ$ , и отношение Т:Ж = 1:12.

Организация доводки серого шлиха состоит в следующем — обогащение в две стадии на концентрационных столах типа СКО-2 и 1. Сушка и разделение на электромагнитном сепараторе СМВИ. На данном этапе возникла трудность разделения коллективного концентрата (платины от золота). На сепараторе СМВИ происходит отделение платины от золота, но в платиновый продукт уходит и железистое золото, около 70%, и 30% платины.

В переделе золотодобычи можно выделить проблему, сокращение объема серого шлиха со шлюзов. На данный момент решили приобрести центробежный концентратор «Фалькон» производства Канады, который характеризуется высоким уровнем степени сокращения и извлечения золота, в отличие от центробежных концентраторов «Кнелсон», «Итомак» и т.п. Россыпные месторожде-


ния подразумевают использование обортной воды, в исходных песках содержится большое количество растительных включений, которыми забиваются указанные технологические отверстия. При использовании центробежных концентраторов без качественной водоподготовки трудно добиться паспортных показателей обогащения [11].

При обработке хвостов цеха доводки перед отправкой в отвальный продукт применяется на предприятии трибоэлектрический сепаратор СТЭМ-2К, основанный на принципе регистрации электрического заряда, накапливаемого за счет

трибоэлектрического эффекта при движении материала по поверхности вибропитателя, данные сепараторы характеризуются низкой производительностью 10–15 кг/ч, но в целом оправдывают себя, а также достигается максимальное сокращение материала до 10 раз перед просмотром сортировщика.

Таким образом, опыт освоения месторождений в части решения, возникающих в процессе эксплуатации месторождений позволяет находить все новые эффективные решения в технологии обогащения песков, что улучшает финансовые возможности предприятий.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Матвеев А. И., Москвин Н. А. Технологические особенности обогащения алмазосодержащих песков: опыт работы ОАО «Алмазы Анабара», ОАО «Нижне-Ленское». — Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2014. — 243 с.
2. Монастырский В. Ф., Макалин И. А. Повышение эффективности работы аппаратов РЛС при обогащении алмазосодержащего сырья // Наука и образование. — № 3. — 2017. — С. 86–90.
3. Баранова Т. В., Соловьева Л. С. Обогащение руд процессом тяжелосредной сепарации // Золотодобыча. — 2008. — № 118, Сентябрь.
4. Авдохин В. М., Чернышева Е. Н. Сокращение потерь ферросилиция в процессе тяжелосредной сепарации алмазосодержащего сырья // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2003. — № 4. — С. 240–244.
5. Dungleison M., Napier-Munn T. J., Shi F. N. The rheology of ferrosilicon dense medium suspensions // Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review, 2000. 20 (1–3). Pp. 45–49.
6. Тимофеев А. С., Ананьев П. П., Двойченкова Г. П. Математическая модель окисления гранул ферросилиция в минерализованных водах // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2017. — СВ 8. — С. 3–11.
7. Чантурия В. А., Двойченкова Г. П., Богачев В. И. и др. Экспериментальные исследования физико-химического состояния свойств ферросилиция в процессе тяжелосредной сепарации алмазосодержащего сырья // Збагачення корисних копалин. Наук.-техн. сб. — 2012. — Вип. 49(90). — С. 63–75.
8. Матвеев А. И., Матвеев И. А., Львов Е. С. Модульные технологии при переработке алмазосодержащих песков на примере производственной деятельности АО «Алмазы Анабара» / Проблемы комплексного освоения георесурсов: материалы VI Всероссийской научной конференции с участием иностранных ученых. Хабаровск, Россия, 05–07 октября 2016 г. — Хабаровск: ИГД ДВО РАН, 2017. — С. 138–143.
9. Алушкин И. В., Щипчин В. Б., Корнеев И. Г. Рентгенрадиометрическая сепарация от TOMRA Sorting для предварительного обогащения угля // Уголь. — 2014. — № 5. — С. 100–103.
10. Матвеев И. А., Матвеев А. И., Еремеева Н. Г. Предварительные исследования извлечения золота из хвостов обогащения алмазосодержащих песков // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2015. — СВ 30. — С. 251–259.
11. Meng Zhou, Ozan Kökkılıç, Raymond Langlois, Kristian E. Waters Size-by-size analysis of dry gravity separation using a 3-in. Knelson Concentrator // Minerals Engineering, 2016, Vol. 91, 15 May, pp. 42–54. 

## КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Меркурьев Артем Николаевич — главный обогатитель,  
АО «Алмазы Анабара», e-mail: merkuryevan@alanab.ru,  
Матвеев Андрей Иннокентьевич — доктор технических наук,  
зав. лабораторией, e-mail: andrei.mati@yandex.ru,  
Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского Сибирского отделения РАН.

---

ISSN 0236-1493. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2018. No. 12, pp. 185–191.

### Problems of processing diamond-bearing sands at placer deposits in North-Western Yakutia in terms of Anabar Diamonds operations

Merkuryev A.N., Chief Concentrator, e-mail: merkuryevan@alanab.ru,  
JSC «Almazy Anabara», 677027, Yakutsk, Republic of Sakha (Yakutia), Russia,  
Matveev A.I., Doctor of Technical Sciences, Head of Laboratory,  
e-mail: andrei.mati@yandex.ru, Chersky Mining Institute of the North, Siberian Branch,  
Russian Academy of Sciences, 677018, Yakutsk, Republic of Sakha (Yakutia), Russia

**Abstract.** Anabar Diamonds operates a number of mining projects at diamond placers in the north-west of the Republic of Sakha (Yakutia). A key part in the production process belongs to processing of diamond-bearing sands. The article describes the milestones of advancement in the customary processing technology at Anabar Diamonds, starting from jiggers to modern sorting and concentrating equipment. Engineering of sorting plants became possible owing to application of X-ray fluorescent separation for coarse particles and float-and-sink process for the basic size product. Furthermore, the Company produces gold and platinum from sorting rejects using washing machines with gateways of fine filling. Mobile plants enable accumulating operations of concentrate processing at a single point and, thereby, creating high-capacity refinement factories. The feasibility of improving efficiency both of processing and refinement of concentrates is demonstrated. The experience gained in meeting challenges arising in the course of mining allows new efficient engineering solutions in the field of diamond-bearing sand processing, which improves financial capacity of the Company.

**Key words:** placers, mineral processing, sorting plant, diamonds, gold, separation.

---

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-12-0-185-191

## REFERENCES

1. Matveev A. I., Moskin N. A. *Tekhnologicheskije osobennosti obogashcheniya almazosoderzhashchikh peskov: opyt raboty OAO «Almazy Anabara», OAO «Nizhne-Lenskoe»* [Process features of diamond-bearing sand treatment: experience of Anabar Diamonds and Nizhne-Lenskoe companies], Novosibirsk, Akademicheskoe izd-vo «Geo», 2014, 243 p.
2. Monastyrskiy V. F., Makalin I. A. Povyshenie effektivnosti raboty apparatov PJIC pri obogashchenii almazosoderzhashchego syr'ya [Improvement of efficiency of diamond-bearing material processing machines PJIC ], *Nauka i obrazovanie*, no 3, 2017, pp. 86–90. [In Russ].
3. Baranova T. V., Solov'eva L. S. Obogashchenie rud protsessom tyazhelosrednoy separatsii [Ore dressing by float-and-sink separation], *Zolotodobycha*, 2008, no 118, September.
4. Avdokhin V. M., Chernysheva E. N. Sokrashchenie poter' ferrosilitsiya v protsesse tyazhelosrednoy separatsii almazosoderzhashchego syr'ya [Reduction in ferrosilicon loss in float-and-sink separation of diamond-bearing raw material], *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*, 2003, no 4, pp. 240–244. [In Russ].
5. Dungleon M., Napier-Munn T. J., Shi F. N. The rheology of ferrosilicon dense medium suspensions, *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, 2000. 20 (1–3). Pp. 45–49.
6. Timofeev A. S., Anan'ev P. P., Dvoychenkova G. P. Matematicheskaya model' okisleniya granul ferrosilitsiya v mineralizovannykh vodakh [Mathematical model of oxidation of ferrosilicon grains in saline water], *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*, 2017. Special edition 8, pp. 3–11. [In Russ].
7. Chanturiya V. A., Dvoychenkova G. P., Bogachev V. I. Eksperimental'nye issledovaniya fiziko-khimicheskogo sostoyaniya svoystv ferrosilitsiya v protsesse tyazhelosrednoy separatsii almazosoderzhashchego syr'ya [Experimental studies into physicochemical properties of ferrosilicon during float-and-sink separation of diamond-bearing raw material], *Zbagachennyya korisnikh kopaln.* 2012, no 49(90), pp. 63–75.
8. Matveev A. I., Matveev I. A., L'vov E. S. Modul'nye tekhnologii pri pererabotke almazosoderzhashchikh peskov na primere proizvodstvennoy deyatel'nosti AO «Almazy Anabara» [Modular technologies in diamond-bearing sand processing in terms of production activities of Anabar Diamonds]. *Problemy kompleksnogo*

osvoeniya georesursov: materialy VI Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii s uchastiem inostrannykh uchenykh. Khabarovsk, Russia, 05-07 October 2016. Khabarovsk, IGD DVO RAN, 2017, pp. 138–143. [In Russ].

9. Alushkin I. V., Shchipchin V. B., Korneev I. G. Rentgenradiometricheskaya separatsiya ot TOMRA Sorting dlya predvaritel'nogo obogashcheniya uglya [X-ray radiometric separation from TOMRA Sorting for preliminary dressing of coal], *Ugol'*. 2014, no 5, pp. 100–103. [In Russ].

10. Matveev I. A., Matveev A. I., Eremeeva N. G. Predvaritel'nye issledovaniya izvlecheniya zolota iz khovostov obogashcheniyaalmazosoderzhashchikh peskov [Preliminary studies of gold recovery from tailings of diamond-bearing sand processing], *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*, 2015. Special edition 30, pp. 251–259. [In Russ].

11. Meng Zhou, Ozan Kökkılıç, Raymond Langlois, Kristian E. Waters Size-by-size analysis of dry gravity separation using a 3-in. Knelson Concentrator], *Minerals Engineering*, 2016, Vol. 91, 15 May, pp. 42–54.



---

## ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК)

---

### ИЗМЕНЕНИЕ СОСТАВА ВОДОРАСТВОРИМЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ В ПРИСУТСТВИИ БУРОГО УГЛЯ

(2018, № 6, СВ 26, 14 с. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-6-26-3-14)

*Фоменко Наталья Александровна*<sup>1</sup> — аспирант, инженер, e-mail: natali92@mail.ru,  
*Никитина Изабела Михайловна*<sup>1</sup> — кандидат технических наук, ведущий инженер,  
*Гущина Татьяна Олеговна*<sup>1</sup> — аспирант, инженер,  
*Журавлев Александр Андреевич* — старший инженер, ООО «НПО Углекокс»,  
*Соконова Татьяна Сергеевна*<sup>1</sup> — инженер, e-mail: sozonova1994@yandex.ru,  
<sup>1</sup> НИТУ «МИСиС».

Исследован состав водных вытяжек, полученных из золошлаковых отходов (ЗШО), отобранных из золоотвалов двух ТЭС Красноярского края, использующих для сжигания бурый уголь Канско-Ачинского бассейна. ЗШО различаются по содержанию водорастворимых соединений кальция, калия, натрия, алюминия, железа, бора, бария, марганца, магния, молибдена, хрома, цинка и стронция. Исследовано влияние добавок бурого (окисленного и неокисленного) угля на изменение компонентного состава водорастворимых соединений из ЗШО. Показано, что присутствие бурого (окисленного и неокисленного) угля в смеси с ЗШО приводит к снижению в водных вытяжках кальция, калия, натрия, бора, бария и стронция. Отмечено, что присутствие углей приводит к увеличению в растворах содержания железа, марганца, магния и цинка. Предположительно, причиной наблюдаемого эффекта является гидролиз минеральных и органоминеральных соединений в угле и переход некоторых элементов в растворимые формы.

Ключевые слова: золошлаковые отходы, окисленный бурый уголь, неокисленный бурый уголь, водорастворимые вещества, потенциально опасные элементы.

### CHANGING THE COMPOSITION OF WATER-SOLUBLE SUBSTANCES FROM ASH AND SLAG WASTE IN THE PRESENCE OF BROWN COAL

*Fomenko N.A.*<sup>1</sup>, Graduate Student, Engineer, e-mail: natali92@mail.ru,  
*Nikitina M.I.*<sup>1</sup>, Candidate of Technical Sciences, Leading Engineer,  
*Gushchina T.O.*<sup>1</sup>, Graduate Student, Engineer,  
*Zhuravlev A.A.*, Senior Engineer, LLC «Scientific-Production Association Placex», Ekaterinburg, Russia,  
*Sozonova T.S.*<sup>1</sup>, Engineer, e-mail: sozonova1994@yandex.ru,

<sup>1</sup> National University of Science and Technology «MISIS», 119049, Moscow, Russia.

To study the composition of the aqueous extracts obtained from ash-and-slag waste (ASW) selected from the ash ponds of two thermal power plants Red-Yarskaya edge, using for the combustion of brown coal Kansk-Achinsk basin. CSW differ in the content of water-soluble compounds of calcium, potassium, sodium, aluminum, iron, boron, barium, manganese, magnesium, molybdenum, chromium, zinc and strontium. The influence of additives to the brown (oxidized and neocis provided) of coal to the change in the component composition odorato-rimah compounds from ASW. It is shown that the presence of brown (oxidized and non-oxidized) coal in a mixture with lice leads to a decrease in aqueous extracts of calcium, potassium, sodium, boron, barium and strontium. It is noted that the presence of coals leads to an increase in the content of iron, manganese, magnesium and zinc in solutions. Presumably, the reason for the observed effect is the hydro-role of mineral and organo-mineral compounds in coal and the transition of some elements into soluble forms.

Key words: waste slag, oxidized lignite, oxidized lignite, water-soluble substances, tenzile dangerous elements.