

и качества воды, оцененного по предложенной методики, без сомнения, представляет, как научный, так и практический интерес и позволяет оценить влияние изменения биологической продуктивности водной толщи на качество вод. Результаты такого анализа интересны также с методической точки зрения, т. к. оба показателя (численное выражение трофического статуса и численное выражение качества воды), по нашему мнению, должны постепенно интегрироваться в систему мониторинга и экологической оценки водоемов, важных с хозяйственной и природоохранной точек зрения.

Корреляционный анализ показывает связь между качеством воды, оцененным по NWQI и трофическим статусом, оцененным по индексу трофического состояния, TSI [5]. Коэффициент корреляции Спирмена между этими показателями, хоть и был статистически значим ($p = 0,0005$) но составил всего $-0,32$, что, по нашему мнению, свидетельствует о слабой связи.

Проведенные исследования показали, что трофический статус нельзя рассматривать как аналог качества воды, хотя связь этих показателей, безусловно, существует. В расчет обоих индексов (NWQI и TSI) входят в случае наших озер три одинаковых показателя – общий фосфор, хлорофилл и прозрачность по диску Секки. Очевидно, что качество воды более широкое понятие, чем трофический статус, к тому же учитывающее особенности водопользования в каждом озере и приоритеты развития его экосистемы. В общем смысле понятие трофического статуса существует в природе вне зависимости от отношения к нему человека, в то время как качество воды может рассматриваться только через призму отношения человека к конкретному объекту.

Работа выполнена при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований и Научного комитета РА в рамках совместного исследовательского проекта SC 21 и B21APM-027.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Hambright, K.D.H.* Indices of water quality for sustainable management and conservation of an arid region lake, Lake Kinneret (Sea of Galilee), Kinneret. Aquatic Conservation / K.D.H. Hambright, A. Parparov, T. Berman // *Marine and Freshwater Ecosystems*. – 2000. – Vol. 10. – P. 393–406.
2. *Parparov, A.* Assessment and implementation of a methodological framework for sustainable management: Lake Kinneret as a case study / A. Parparov, G. Gal // *Journal of Environmental Management*. – 2010. – Vol. 101. – P. 111–117.
3. *Parparov, A.* Water Quality Quantification: Basics and Implementation / A. Parparov, K.D. Hambright, L. Hakanson, A. Ostapenia // *Hydrobiologia*. – 2006. – Vol. 560. – P. 227–237.
4. *Gal, G.* Development and application of a sustainability index for a lake ecosystem / G. Gal, T. Zohary // *Hydrobiologia*. – 2017. – Vol. 800. – P. 207–223.
5. *Adamovich, B.V.* Long-term changes of trophy state index of Naroch Lakes and its connection with the main hydrogeological parameters / B.V. Adamovich, T.V. Zhukova, T.M. Mikheyeva, R.Z. Kovalevskaya, E.V. Lukyanova // *Water Resources*. – 2016. – Vol. 43, iss. 5. – P. 809–817.

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ СЕЛЕКТИВНОЙ СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ КАЛИЙНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ ANALYSIS OF THE APPLICATION OF A SELECTIVE SYSTEM FOR THE DEVELOPMENT OF POTASH DEPOSITS IN THE REPUBLIC OF BELARUS

П. П. Делянко^{1,2}, В. М. Мисюченко^{1,2}

P. P. Dzelianko^{1,2}, V. M. Misiuchenka^{1,2}

¹Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А.Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь
dzelpolina@gmail.com

¹Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU
Minsk, Republic of Belarus

В данной статье рассмотрено обращение с отходами калийных производств в Республике Беларусь на примере ОАО «Беларуськалий». Проанализирована динамика образования отходов переработки руды первого рудоуправления за последние 5 лет. В 2022 году образование данных отходов резко снизилось, за счет уменьшения объемов добычи. Рассмотрено применение системы селективной разработки с закладкой галита в выработанное пространство лав. Определено, что эффективность этого метода за последние годы повысилась, что связано с улучшением качества руды, снижением просадки земных пород. В то же время метод имеет ряд недостатков таких как сложная организация труда, связанная с разделением выемки сильвинитовых

и галитовых слоев. А также этот метод добычи требует определенных технических решений и оборудования, что делает себестоимость метода более высокой. С увеличением глубины добычи применение метода затрудняется, так как из-за повышенного давления увеличивается вероятность возникновения неисправностей оборудования.

The article considers the content of waste management of potash production in the Republic of Belarus on the example of JSC Belaruskali. The dynamics of the generation of ore processing waste of the first production unit over the past five years is considered. In 2022, the generation of these wastes decreased, due to a decrease in potash ore production. The application of a selective development system with the laying of halite in the developed space is considered. It is determined that the effectiveness of this method has increased in recent years, which is associated with an improvement in the quality of ore, a decrease in land subsidence. At the same time, the method has a number of disadvantages, such as the complex organization of labor associated with the separation of the excavation of silvinit and halite layers. And also this method of extraction requires certain technical solutions and equipment, which makes the cost of the method higher. With an increase in the depth of production, the application of the method becomes more difficult, since due to increased pressure, the probability of equipment malfunctions increases.

Ключевые слова: калийные производства, галитовые отходы, глинисто-солевые галитовые шламы сильвинитовая руда; система селективной выемки, добыча калийных руд.

Keywords: potash production, halite waste, clay-salt belite sludge silvinit ore; selective excavation system, potash ore mining.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-128-131>

Отходы производства калийных удобрений и их влияние на окружающую среду являются общей проблемой калийных производств во всем мире. Основные экологические проблемы как правило связаны с:

- нарушением земель в результате строительства и эксплуатации крупных сооружений для хранения отходов (шламохранилища, солеотвалы)

- загрязнением подземных и поверхностных вод рассолами и отходами производства разной фракции и др.

Большое внимание уделяется безопасности и природоохранным мерам, предпринимаемым в местах хранения, так как недостаточность этих мер может привести к авариям, последствия которых могут достигать масштабов, выходящих за пределы объекта.

В международной литературе выделяют такие методы утилизации отходов как:

- Сброс отходов в реки и океаны с предшествующим удалением загрязняющих веществ

- Укладка соляных отвалов в штабеля

- Хранение шламов, рассолов, технических вод в специальных плотинах или бункерах для отстаивания и осветления и другие методы.

Возможность применения того или иного метода зависит от характера отходов и места их хранения и иных факторов. Например, вышеуказанный сброс отходов в водоемы осуществляется только под обязательным контролем и с применением систем мониторинга. Ведется постоянный контроль уровней загрязняющих веществ в воде для гарантирования безопасности водной экосистемы [1].

В Республике Беларусь каждый год образуется более 1,4 тысяч видов отходов [2]. Значительную долю в их образовании занимают галитовые отходы и глинисто-солевые шламы. Нами проанализировано обращение с данными отходами калийных производств на примере ОАО «Беларуськалий».

Основными источниками образования отходов производства ОАО «Беларуськалий» являются процессы переработки сильвинитовой руды, эксплуатация оборудования, автотранспорта и конвейерного транспорта, профилактика и ремонт оборудования, демонтаж отработанного оборудования и конструкций и др. Нами рассмотрено обращение с отходами переработки руды первого рудоуправления.

Процесс переработки руды состоит из следующих стадий:

- Дробление сильвинитовой руды.

- Измельчение дроблёной руды с предварительной и поверочной классификацией.

- Обесшламливание питания сильвиновой флотации.

- Сильвиновая флотация и раздельная флотация мелкой фракции.

- Классификация и обезвоживание галитовых отходов флотации.

- Сгущение шламовых отходов производства.

- Классификация, обезвоживание и сушка калия хлористого.

- Получение полуфабриката калия хлористого мелкого.

- Получение полуфабриката гранулированного хлористого калия.

- Складирование и отгрузка мелкого, гранулированного хлористого калия.

- Удаление и складирование галитовых отходов, шламов галитовых-глинисто-солевых.

В результате процесса переработки руды образуются основные отходы производства: твердые галитовые отходы (массовая доля KCl 2,66%, массовая доля нерастворимого остатка 1,83 % в расчёте по сухому веществу),

и шламы галитовые глинисто-солевые (массовая доля KCl в разгрузке шламовых сгустителей 12,47 %, массовая доля н.о. 56,49 % в расчёте по твёрдому веществу).

С 2018 по 2021 года наблюдалась тенденция увеличения образования отходов производства калийных удобрений (Рис. 1.).

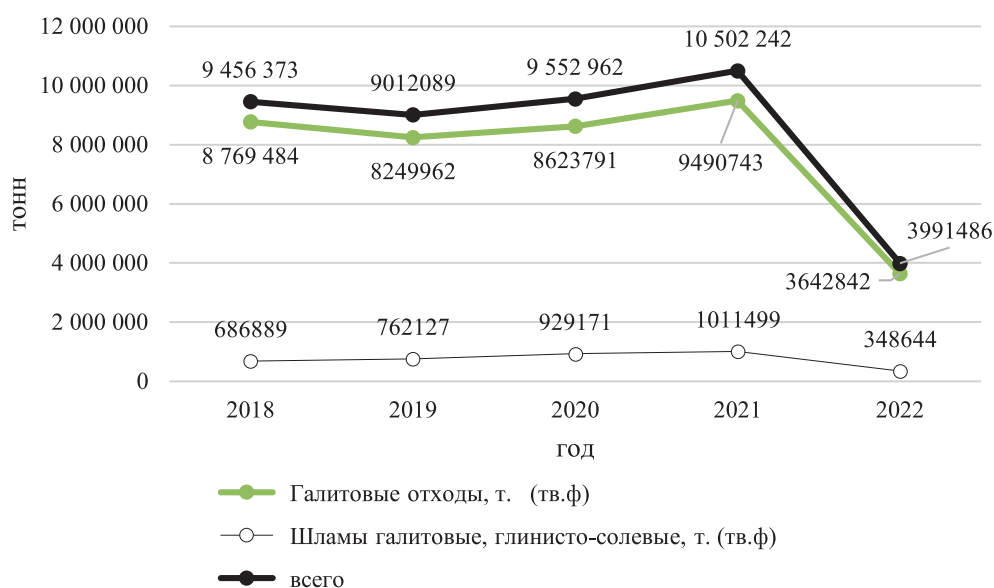


Рисунок 1 – Образование отходов IPY 2018–2022 гг., тонн

В результате анализа документации выявлено, что всего в 2021 году было образовано более 10,5 миллионов тонн отходов, что на $\approx 1\,045\,869$ т больше показателя 2018 года. Из них около 90% приходится на галитовые отходы (хвосты, кек) и 10 % на галитовые, глинисто-солевые шламы. Образование шламов за этот период возросло почти в 1,5 раза. Образование галитовых отходов до 2021 года также увеличивалось, однако в 2019 году был небольшой спад приблизительно на 52 тыс. т. В сравнении с 2019 годом количество галитовых отходов в 2021 году возросло в $\approx 1,2$ раза. В следующем 2022 году, произошел резкий спад количества образованных отходов почти в 3 раза и их объем составил всего лишь порядка 4 миллионов тонн. Этот спад объясняется уменьшением объемов добычи руды и производства удобрений, из-за уменьшения рынка сбыта.

Все приведенные виды отходов отправляются на хранение следующим образом.

Твердые галитовые отходы из отделения фильтрации системой конвейерных линий подаются на ленточные конвейеры отделения отвалов и хвостового хозяйства, подающие отходы к отвалообразователям для их складирования на солеотвале 1 Рудоуправления. Шламы галитовые глинисто-солевые, разбавляются оборотными рассолами и транспортируются на шламохранилища в соответствии с технологическим регламентом. Подача шламов галитовых глинисто-солевых к месту складирования осуществляется напорным гидротранспортом по линиям шламопроводов.

Площадь, занятая солеотвалами на 2021 год, составила 691,97 га (всего отведено – 1149,91 га). Общее количество галитовых отходов на солеотвалах четырех рудоуправлений на конец 2020 года составило свыше 1 миллиона тонн. Площадь, занятая шламохранилищами, на 2021 год составила 1144,27 га и всего в шламохранилищах было накоплено 128292,3 тыс. тонн шламов.

В пределах Старобинского месторождения залегает четыре сильвинитовых пласта (горизонта). Они характеризуются сложным строением, представляющим собой слои пород сильвинита мощностью до 1,5 м [3], каменной соли (галита), прослоек глины, которые чередуются между собой. Разработка ведется на глубине от 350 до 1000 м [4].

На данный момент предприятие использует такие системы разработки месторождения как:

- Камерные
- Столбовые (в том числе с валовой выемкой выемкой руды)
- Комбинированная [5]

Активно применяется селективная система разработки калийных месторождений с закладкой галита в выработанное пространство лав. Система является основным методом снижения объемов галитовых отходов, складированных на земной поверхности. Также это позволяет снизить просадку земной поверхности в результате ведения горных работ. За 2020 год на всем предприятии выдано порядка 9 миллионов тонн сильвинитовой руды, и закладировано чуть более 2 миллионов тонн галита, что составляет 24,5 % от общего количества сильвинитовой руды образованной на предприятии. Эффективность добычи селективным методом с каждым годом увеличивается, несмотря на определенные изменения объемов добычи руды. В 2020 году объем складированного галита в пространстве выработанных лав от общего количества руды, добытой данным методом возросло с 21 % до 23 %. В 2021 году эта цифра возросла до ≈ 25 % и показатель не менялся до 2022 года, где объем складированного галита составил почти 26 %. В то время как общий объем добычи резко снизился.

При применении системы разработки с селективной выемкой сильвинитовых и галитовых слоёв с закладкой галита в выработанное пространство, в лаве ведётся раздельная выемка сильвинитовых слоёв и слоя каменной соли. Галит не выдается на поверхность, а забрасывается закладочными машинами в отработанное пространство.

Всего на первом рудоуправлении (без учета Березовского рудника 1РУ) действуют две селективные лавы. За последние 3 года наблюдалась следующая динамика добычи руды селективными лавами первого рудоуправления (Рис. 2).

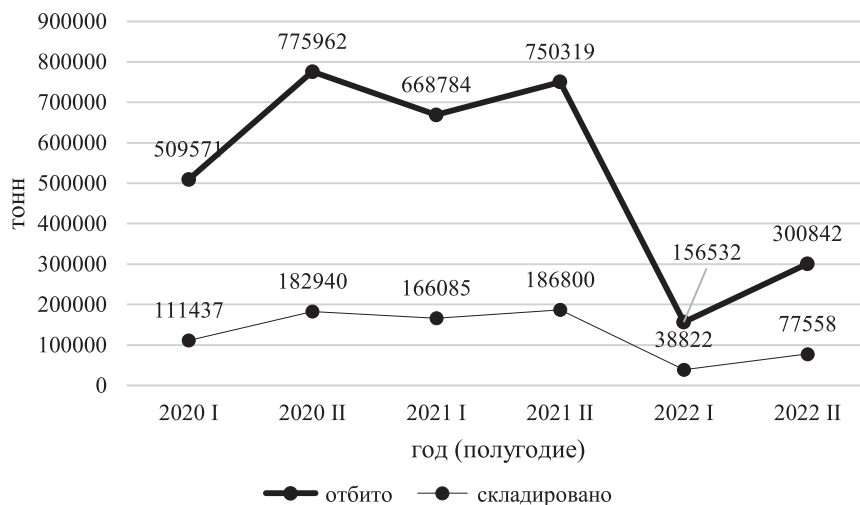


Рисунок 2 – Добыча руды селективными лавами на 1РУ, тонн

Помимо таких позитивных сторон как: улучшение качества руды, путем повышения содержания полезного компонента, снижения просадки земных пород, метод имеет ряд недостатков.

Система селективной выемки требует сложной организации труда. Из-за разделения выемки сильвинитовых и галитовых слоев процесс добычи полезного сырья замедляется, так как при использовании данного метода происходит выемка одной полосы в несколько проходок комбайна. Таким образом снижается общая производительность. Кроме того такой метод добычи требует определенных технических решений и оборудования, что делает себестоимость метода более высокой. С увеличением глубины добычи применение метода затрудняется, так как из-за повышенного давления увеличивается вероятность возникновения неисправностей оборудования. Существует необходимость в определенном техническом перевооружении. Таким образом по этим и другим причинам более часто применяют валовую выемку руды, в ходе которой извлекается всех пород.

Однако валовая выемка имеет ряд своих недостатков. Из-за содержащихся в руде прослоев пустой породы, снижается качество добытого сырья, поскольку содержание полезного компонента калийной соли в рудной массе низкое. Требуется дополнительные затраты на транспортировку руды на поверхность, а также на обогащение руды на обогатительных фабриках рудоуправлений. Помимо всего перечисленного, применение такого метода ведет к увеличению площади солеотвалов.

Таким образом система селективной выемки сильвинитовых и галитовых слоев с закладкой галита имеет ряд преимуществ как для упрощения производственных процессов, так и для улучшения экологической ситуации в районах разрабатываемых месторождений. Данный метод в перспективе может иметь более широкое применение, но требует выполнения множества технических условий, что несколько усложняется экономической ситуацией.

ЛИТЕРАТУРА

1. UNEP Environmental Aspects of Phosphate and Potash Mining / UNEP . – Paris, 2020. – 61 p.
2. Отходы производства и потребления [Электронный ресурс]: Н.Б. Кичаева, Т.И. Масловская, А.С. Гавдель, Отходы производства и потребления // Республиканское научно-исследовательское унитарное предприятие «Бел НИЦ «Экология» – Режим доступа: <https://www.ecoinfo.by/content/148.html>
3. Сиренко, Ю. Г. Повышение безопасности работ при селективной отработке калийных пластов короткими очистными забоями с частичной закладкой камер / Ю. Г. Сиренко – Санкт-Петербург, 2019. – 2с.
4. Бондарев, К. А. Разработка технологических схем выемки IV калийного пласта в условиях многогоризонтной отработки Старобинского месторождения / К. А. Бондарев – Санкт-Петербург, 2019. – 22с.
5. Технология ведения горных работ [Электронный ресурс]: Технология ведения горных пород, технология добычи руды // ОАО «Беларуськалий» – Режим доступа: https://kali.by/production/technology/technology_of_mining/