

УДК 504.55.054:622(470.6)  
10.17213/2075-2067-2021-1-238-248

## ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

© 2021 г. Д. Н. Шурыгин\*, А. В. Логачев\*, Е. И. Разоренова\*\*

\*Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)  
имени М. И. Платова, г. Новочеркасск, Россия

\*\*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
г. Санкт-Петербург, Россия

**Целью исследования** является экономический анализ взаимодействия технологий разработки угольных месторождений и охраны окружающей природной среды в населенных районах. Актуальность проблемы возрастает с увеличением объемов хранилищ отходов переработки полезных ископаемых, в том числе углей.

**Методологическую базу исследования** представляют теоретические подходы по экономической оценке полноты использования природных ресурсов, выщелачиванию металлов из руд, механохимическому выщелачиванию металлов из хвостов обогащения. Исследование базируется на идеях А. П. Зефирова, А. И. Калабина, В. П. Новик-Качана, Б. В. Невского в области обогащения полезных ископаемых.

**Результаты исследования.** Возможность извлечения металлов до безопасного содержания подтверждена экспериментально в ходе переработки хвостов обогащения, в том числе в условиях шахты Воровского и шахты №2 Западная. Утилизация хвостов обогащения углей по инновационным технологиям с получением товарной продукции в процессе извлечения металлов из них обладает преимуществами перед известными способами и представляет собой перспективный резерв оздоровления региона и упрочнения минерально-сырьевой базы Российского Донбасса.

**Перспективу исследования** составляет разработка безотходной утилизации хвостов обогащения углей в рамках рекультивации шахтной поверхности, при этом традиционные технологии переработки не способны экономически эффективно извлечь полезные компоненты, вследствие чего утилизация является убыточной.

**Ключевые слова:** угольное месторождение; природная среда; хвосты обогащения; рекультивация; шахтная поверхность; инновационная технология; товарная продукция.

## ECONOMIC EFFICIENCY OF THE SURFACE RECULTIVATION OF COAL MINES

© 2021 D. N. Shurygin\*, A. V. Logachev\*, E. I. Razorenova\*\*

\*Platov South Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, Russia

\*\*Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, Russia

**The purpose of the study** is an economic analysis of the interaction of technologies for the development of coal deposits and environmental protection in populated areas. The urgency of the problem increases with the increase in the volume of storage facilities for waste processing of minerals, including coal.

*The methodological base of the study is based on theoretical approaches to the economic assessment of the full use of natural resources, leaching of metals from ores, and mechanochemical leaching of metals from enrichment tailings. The research is based on the ideas of A. P. Zefirov, A. I. Kalabin, V. P. Novik-Kachan, B. V. Nevsky in the field of mineral processing.*

**The results of the study.** *The possibility of extracting metals to a safe content was confirmed experimentally during processing of enrichment tailings, including in the conditions of Vorovsky mine and Zapadnaya mine №2. Utilization of coal processing tailings using innovative technologies to produce marketable products in the process of extracting metals from them has advantages over known methods and is a promising reserve for improving the region and strengthening the mineral resource base of the Russian Donbass.*

**The prospect of the study** *is the development of waste-free utilization of coal processing tailings as part of mine surface reclamation, while traditional processing technologies are unable to economically extract useful components, as a result of which disposal is unprofitable.*

**Key words:** *coal deposit; natural environment; enrichment tailings; recultivation; mine surface; innovative technology; commercial products.*

**Введение.** России принадлежит 16% всех природных минерально-сырьевых ресурсов мира. В то же время минерально-сырьевая база России характеризуется истощением богатых и крупных месторождений полезных ископаемых, что должно компенсироваться освоением меньших по запасам и содержанию полезных компонентов месторождений. Увеличивается актуальность поиска и освоения технологий, обеспечивающих более полное и комплексное использование недр.

Донецкий угольный бассейн выдал первый уголь в 1723 г. После восстановления шахт в 1945 г. Донбасс стал давать угля больше, чем любой другой угольный бассейн СССР. Но с середины 70-х гг. прошлого века наметилась тенденция снижения темпов добычи угля, а в 1995–1997 гг. добыча угля на многих шахтах была прекращена.

Донецкие угли и хвосты их обогащения содержат металлы, которые могут быть извлечены в товарные продукты новыми технологиями, но пока запасы хвостов обогащения представляют собой еще не осваиваемую мощную базу для производства товарной продукции.

Вопросы взаимодействия технологий разработки угольных месторождений и охраны окружающей природной среды формируют важную проблему, актуальность которой возрастает с увеличением объемов хранилищ отходов переработки углей [1–4].

Экономической оценке полноты использования природных ресурсов посвяще-

ны многие работы. Многообразие подходов к решению данной проблемы объясняется ее многогранностью, теоретической и практической сложностью. В них для оценки деятельности предприятий исследуют возможность достижения максимальной экономической эффективности, составной частью которой является минимизация наносимого окружающей среде ущерба [5–8].

Одно из направлений снижения стоимости горных работ — утилизация отходов минерального производства [9–12]. Анализ публикаций, посвященных проблемам разработки месторождений, позволяет резюмировать, что переработка некондиционного минерального сырья с использованием минимального количества энергии может обеспечить положительный эколого-экономический эффект [13–16].

В работы, посвященные качеству полезных ископаемых, внесли вклад Н. П. Лавров, Б. Н. Ласкорин, М. И. Агошков и др. Теоретические основы гидрометаллургии как раздела обогащения разработаны трудами И. Н. Плаксина, С. Б. Леонова, В. А. Чантурия и др. Наибольшие успехи этого направления достигнуты при выщелачивании металлов из руд, чему посвящены труды А. П. Зефирова, А. И. Калабина, В. П. Новик-Качана, Б. В. Невского и др.

В. Ф. Борбат, Л. Н. Адеева извлекали в раствор редкоземельные металлы из отходов сжигания углей. Скандий и иттрий из золошлаковых отходов соляной кислотой

извлекали А.А. Концевой, А.Д. Михнев, Г.Л. Пашков, Л.П. Калмыкова. Известны случаи извлечения металлов из продуктов сжигания углей в США и ряде других стран. Публикации о попытках извлечения металлов кучным выщелачиванием именно из углей единичны.

Общим недостатком рассматриваемых технологий является длительное время выщелачивания и трудность контроля полноты процесса. В последние годы активно развивается технология с механохимическим выщелачиванием металлов из хвостов обогащения, в том числе углей, до уровня санитарных требований.

Целью настоящего исследования является детализация технологических основ рационального использования текущих и накопленных хвостов обогащения углей для обеспечения экономической эффективности рекультивации поверхности угольных шахт путем получения товарной продукции в процессе извлечения из них металлов.

**Результаты исследований.** Месторождения металлосодержащих углей Российского Донбасса локализованы в перспективных для развития угольной отрасли Старобельско-Миллеровском и Новомосковском угленосных районах Донецкого бассейна. За 300 лет добычи углей на 5500 га земель сформировано более 1300 отвалов хвостов переработки углей объемом 1 млрд. кубических метров.

Негативная экологическая нагрузка на окружающую среду складывается из составляющих:

- отвлечение земной поверхности от полезного использования;
- изменение почв за счет смыва пыли с поверхности отвалов;
- загрязнение гидросистем растворимыми соединениями металлов в результате естественного выщелачивания.

Если первые две составляющие могут быть ликвидированы путем рекультивации отвалов, то процессы естественного выщелачивания в отвалах хвостов после покрытия их слоем грунта и последующего озеленения не прекращаются.

Масштаб окислительных процессов в значительной степени зависит от минерального состава хвостов обогащения углей. Рас-

творение минералов ускоряется благодаря их совместному окислению, что объясняется ролью микротоков, протекающих между минералами, имеющими разные электродные потенциалы. Образовавшиеся продукты выносятся растворами за пределы реакционной зоны, что проявляется в минерализации вод, вытекающих из-под отвалов.

Горелые породы с примесью угля не могут быть использованы ни для производства безобжиговых строительных материалов, ни в качестве заполнителей в бетонах. При неполном обжиге горелые породы содержат компоненты, которые существенно изменяют объем при изменении влажности и температуры среды, а также при взаимодействии с кислородом воздуха и водой.

Среди качеств горелых пород особенно нежелательны водопоглощение и влажность, капиллярное всасывание и гидрофильный характер поверхности. Техногенные месторождения отходов угледобычи пригодны для переработки инновационными технологиями, что снижает нагрузку на среду и расширяет ресурсную базу.

Водная эрозия отвалов угледобычи характеризуется выносом содержащихся в породах опасных компонентов. Снизить активность водной эрозии пытаются созданием искусственных насаждений с развитием самосеивной древесной растительности. Внутри отвалов создаются благоприятные условия для окисления благодаря деятельности микроорганизмов. Окисление сульфидной серы осуществляется обычно автотрофными микроорганизмами, устойчивыми в условиях кислой среды.

Борьба с негативным влиянием отвалов хвостов угледобычи включает в себя предотвращение выбросов пыли и газов, ограничение фильтрации атмосферных осадков в горизонты подземных вод путем покрытия отвала землей и высадки растительности.

История становления, развития угледобычи Донбасса и сегодняшнее состояние его территории свидетельствуют о неэффективности процессов рекультивации ни в период интенсивной добычи угля, ни в настоящее время. Ранее это объяснялось недостаточной технической вооруженностью процессов рекультивации, но в настоящее время сформировалась проблема экономического плана.

В донецких углях содержится драгоценных металлов на сумму, в несколько раз превышающую стоимость проданных углей. Перед промышленностью стоит задача создать технологический процесс и комплекс оборудования, позволяющий извлекать металлы из отходов угледобычи хотя бы до установленного уровня.

Угольные предприятия относятся к рангу крупнейших производителей твердых отходов. Начальным этапом рекультивации отвалов (хранилищ) хвостов угледобычи должно стать извлечение из них полезных компонентов.

Примерно 80% добываемого угля направляется на производство энергии, до 20%

используется металлургической промышленностью. На всех этапах создаются хранилища хвостов обогащения и использования углей. В России накоплено более 12 млрд. тонн твердых отходов. Ежегодно производится до 75 млн. тонн опасных отходов, лишь 18% из которых утилизируются. На территории Ростовской области ежегодно образуется от 7 до 8 млн. тонн твердых промышленных отходов.

Исследования хвостов обогащения углей показывают их высокую промышленную ценность. Они могут быть использованы в качестве основного сырья и добавок в различных отраслях народного хозяйства, в том числе в качестве техногенных месторождений

Таблица 1

## Содержание металлов в отвалах угольных шахт

Районы/ металлы, г/т	Mn	Ni	Co	V	Cr	Zr	Pb	Zn	Be
Каменско-Гундоровский	300–700	40–80	10–20	80–20	100–200	50–100	10–30		
Белокалитвинский	100–600	30–10	–	30–100	30–100	50–100	–	–	–
Гуково-Зверевский	200–600	10–100	–	60–100	50–200	60–100	10–100	–	–
Красно-Донецкий	200–600	15–30	–	50–80	50–60	–	20–30	–	–
Сулино-Садкинский	200–500	30–50	10–20	80–150	–	50–60	10–20	30–50	1,5–3,0
Шахтинско-Несветаевский	100–1000	10–100	–	50–500	50–200	50–200	15–3000	–	–

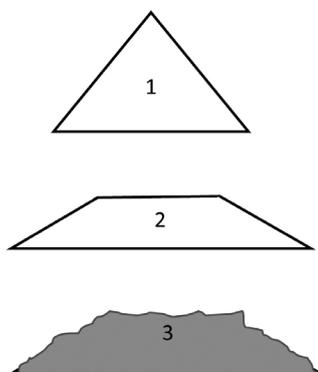
Таблица 2

## Содержание металлов в отвалах обогатительных фабрик

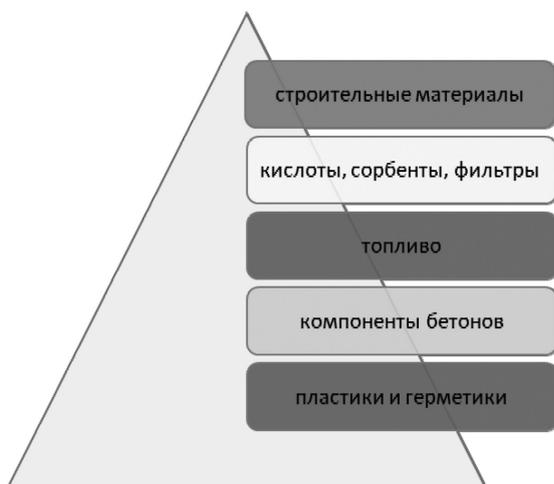
Обогатительная фабрика	Содержание металлов, г/т										
	Mn	Ni	Co	V	Cr	Mo	Zr	Pb	Zn	Be	Sr
Донецкая	640,9	74,2	17,4	124	222,1	5	113,6	74	149,1	3	175,2
Гуковская	989,4	39,7	14,9	79,9	148,6	5,6	99	49,8	83,7	4	594,3
Шолоховская	324,1	55,2	24,1	242	242	6,2	104,2	55,5	263	2,6	356,4
Несветаевская	790,5	49,6	10,4	99,3	198	3	99	39,9	148,8	3	151

металлов. Содержание металлов в отвалах угольных шахт некоторых районов Донбасса характеризуется таблицей 1. Содержание металлов в отвалах обогатительных фабрик характеризуется таблицей 2.

Рекультивация угольных шахт — комплекс работ по экологическому и экономическому восстановлению шахтной поверхности. Хвосты обогащения углей разравнивают, покрывают плодородным слоем земли и высаживают растительность. Этот процесс трудоемок и дорогостоящ, поэтому большинство отвалов не рекультивированы. Этапы горнотехнической стадии рекультивации отвала хвостов представлены на рисунке 1.



**Рис. 1.** Этапы рекультивации отвала:  
1 — исходное состояние;  
2 — срезка вершины и  
выполаживание боков;  
3 — озеленение



**Рис. 2.** Товарная продукция из хвостов обогащения углей

Рекультивация отвалов хвостов путем их маскировки с засыпкой слоем земли и посадкой растительности не только не уменьшает опасности хвостов для окружающей среды, но и усиливает опасность ввиду неконтролируемого развития синергетических процессов в теле отвала.

Радикальная рекультивация возможна при ликвидации техногенных запасов хвостов обогащения путем переработки с производством товарной продукции (рисунок 2).

При использовании технологии выщелачивания металлы из отходов горного производства извлекают за счет перевода их в растворимые соединения [17–18]. Простое выщелачивание не подготовленных специально хвостов обогащения углей затрудняется коагуляцией, снижающей скорость фильтрации раствора сквозь мелкие фракции (0,1–0,2 мм) хвостов.

Для интенсификации процесса извлечения металлов используют вариант агитационного выщелачивания с перемешиванием пульпы хвостов обогащения углей. Однако результаты лабораторных и промышленных испытаний технологии свидетельствуют, что агитационное выщелачивание не обеспечивает достаточно полного извлечения металлов.

Американские исследователи из хвостов обогащения углей извлекли 89% от общего содержания редкоземельных металлов в хвостах обогащения углей [1]. Этот способ может быть использован в качестве прототипа для разработки технологии извлечения металлов из хвостов обогащения углей.

На территории Российского Донбасса насчитывается более 400 породных отвалов с общим объемом 150 000 тыс. м<sup>3</sup>. Одной из главных причин неэффективности рекультивационных работ является неиспользование возможности самоокупаемости затрат на рекультивацию за счет реализации попутно создаваемых товаров. Такая возможность предоставляется при безотходной рекультивации отвалов хвостов обогащения (рисунок 3).

Эффективность извлечения металлов подтверждена экспериментально в ходе переработки хвостов шахты Воровского и шахты №2 Западная. Исследованиями определен алгоритм безотходной и рентабельной утилизации хвостов обогащения углей в рамках рекультивации шахтной поверхности шахт, ос-

новными технологическими и технико-эксплуатационными характеристиками которой будет возможность утилизации вновь образующихся и накопленных отходов хвостов обогащения, извлечение металлов для промышленности в количестве 20–60% от исходного содержания в хвостах.

Разрабатываемая технология может быть востребована на предприятиях угледобывающей и других отраслей в регионах России и зарубежья. Экономическим и экологическим концептом работы будет возможность вовлечения в хозяйственный оборот хвостов обогащения углей с получением прибыли за счет реализации дополнительной товарной продукции в виде металлов, получения аналога вяжущего и инертного заполнителя для производства бетонных смесей. Прибыль от реализации продукции снижает стоимость рекультивации до приемлемых размеров [19–20].

Основным направлением прорывного совершенствования методов рекультивации шахтной поверхности является включение материалов отвала в природный оборот после извлечения металлов. Утилизация хвостов обогащения углей при благоприятных условиях формирует преимущества, экономический эффект (Э) которых складывается из уменьшения затрат на компенсацию ущерба от их хранения, стоимости полученных при переработке металлов, сырья для стро-

ительной индустрии и другой товарной продукции, а также стоимости возвращаемых в оборот сельскохозяйственных земель:

$$\Theta = \left( \sum_{i=1}^n (C_{и} - C_{н}) \right) \sum_{t=1}^n Q_t,$$

где  $C_{и}$  — исходные затраты при хранении хвостов обогащения  $i$  в период  $t$ ;  $C_{н}$  — новые затраты на содержание хвостов обогащения  $i$  в период  $t$ ;  $Q_t$  — объем утилизируемых хвостов обогащения в период  $t$ ;  $n$  — виды отходов переработки,  $1 \dots n$ .

Экономико-математическая модель эффективности переработки некондиционного сырья по критерию максимум прибыли имеет вид:

$$\Pi = (M_y \Pi_y + Q_T \Pi_T) - (K(1 + E_{ny}) + E_q) - ((M_e \Pi_m + Q \Pi_q) + Q_r \Pi_r) K_n,$$

где  $M_y$  — количество металлов из отходов;  $\Pi_y$  — цена металлов;  $Q_T$  — количество попутной товарной продукции;  $\Pi_T$  — цена попутной товарной продукции;  $K$  — затраты на управление хранилищами;  $E_{ny}$  — коэффициент процентной ставки на экологию;  $E_q$  — коэффициент процентной ставки на кредит для утилизации отходов;  $M_e$  — количество потерянных металлов;  $\Pi_m$  — цена потерянных металлов;  $Q$  — количество потерянных эффектов;  $\Pi_q$  — цена потерянных полезных веществ;  $Q_r$  — количество эффектов пора-



Рис. 3. Безотходная рекультивация отвалов хвостов обогащения с извлечением металлов

жения среды;  $C_r$  — затраты на компенсацию факторов поражения;  $K_n$  — поправочные коэффициенты.

Поправочные коэффициенты включают в себя следующие факторы: самоорганизация хвостов, объем утечки продуктов выщелачивания, дальность утечки продуктов выщелачивания, влияние на биосферу, проявление опасности со временем, риск поражения окружающей среды от неучтенных факторов.

Ущерб от потерь полезного ископаемого компенсируют вычитанием стоимости потерянных запасов по предельным ценам:

$$\Pi = \sum_{n=1}^t \frac{C_d - Z - C_{п}}{(1 - E)^n},$$

где  $\Pi$  — прибыль, руб.;  $C_d$  — добываемая ценность, руб.;  $Z$  — затраты на производство товаров, руб.;  $C_{п}$  — потерянная ценность, руб.;  $E$  — нормативный коэффициент приведения;  $t$  — время на производство конечного продукта.

При утилизации хвостов добычи и переработки высвобождается активная часть основных средств, но возникает необходимость в дополнительных капитальных вложениях на сооружение цехов переработки растворов, насосных и т.п. Эффективность вовлечения техногенных запасов в производство складывается из увеличения объемов производства, повышения отдачи капитала и уменьшения размеров штрафных санкций за загрязнение окружающей среды.

**Заключение.** Эффективность разработки месторождений полезных ископаемых определяется не только экономическими преимуществами применяемой технологии, качеством добытой руды и влиянием применяемой техники и технологии на окружающую среду, но и полнотой использования добытых ресурсов, которая включает в себя и прибыль от утилизации отходов. Обоснование экономической эффективности рекультивации поверхности угольных шахт путем утилизации хвостов обогащения углей с получением товарной продукции в процессе извлечения металлов из них представляет собой перспективное направление поисков резерва оздоровления региона и упрочнения минерально-сырьевой базы Российского Донбасса.

## Литература

1. Голик В.И., Ермоленко А.А., Лазовский В.Ф. Организационно-экономические проблемы использования природных ресурсов Южного Федерального округа. — Краснодар: изд-во ЮИМ, 2008. — 328 с.
2. Разоренов Ю.И., Голик В.И., Куликов М.М. Экономика и менеджмент горной промышленности. — Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2010. — 251 с.
3. Шульгатый Л.П., Разоренов Ю.И., Дзеранов Б.В., Дзанаров В.Х. Экономико-технологические проблемы горных отраслей регионов юга России // в сб. науч. тр.: Социально-экономические проблемы развития южного макрорегиона. — Краснодар, 2017. — С. 155–163.
4. Разоренова Е.Ю., Бабкин А.В. Предложения по расширению минерально-сырьевой базы угледобывающих предприятий // в сб.: Неделя науки СПбПУ. Материалы научной конференции с международным участием. Институт промышленного менеджмента, экономики и торговли. В 3-х частях. — 2019. — С. 687–690.
5. Абрамкин Н.И., Абрамкина А.Н., Ващенко К.С. Основные аспекты использования байесовского подхода при мониторинге технологических систем угольных шахт // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2015. — №7. — С. 5–10.
6. Белодедов А.А., Должиков П.Н., Легостаев С.О. Анализ механизма образования деформаций земной поверхности над горными выработками закрытых шахт // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. — 2017. — №1. — С. 160–169.
7. Молев М.Д., Занина И.А., Илиев А.Г., Чертов Ю.Е. Оценка риска для населения Ростовской области при ликвидации бесперспективных угольных шахт // Abstract Salvensis. — 2017. — Т. 2017. — С. 139–150.
8. Воробьев С.А., Качурин Н.М. Зарубежный опыт исследования проблем комплексного освоения угольных месторождений подземным способом // Горный журнал. — 2016. — №5. — С. 78–85.
9. Голик В.И., Комащенко В.И., Страданченко С.Г., Масленников С.А. Повышение полноты использования недр путем глу-

бокой утилизации отходов обогащения угля // Горный журнал. — 2012. — №9. — С. 91–95.

10. Комащенко В.И., Разоренов Ю.И. О проблеме комплексного использования отходов добычи и хвостов обогащения // в сб.: Повышение качества образования, современные инновации в науке и производстве. Сборник трудов Международной научно-практической конференции. — 2017. — С. 41–44.

11. Разоренов Ю.И., Земляной М.А. Методика выбора направления развития горных работ в плане и в углубке (на примере новороссийского месторождения мергелей) // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2009. — №6. — С. 411–416.

12. Комащенко В.И. Эколого-экономическая целесообразность утилизации горно-промышленных отходов с целью их переработки // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. — 2015. — №4. — С. 23–30.

13. Golik V.I., Doolin A.N., Komissarova M.A., Doolin R.A. Evaluating the effectiveness of utilization of mining waste // International Business Management. — 2015. — Vol. 9. — №6. — Pp. 1119–1123.

14. Каплунов Д.Р., Качурин Н.М., Ефимов В.И., Качурин А.Н. Проектные предложения по созданию энергетического предприятия, использующего систему «дегазация — газотурбинная электростанция» // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. — 2019. — №1. — С. 151–162.

15. Каплунов Д.Р., Мельник В.В., Рыльникова М.В. Комплексное освоение недр. — Тула: Изд-во ТулГУ, 2016. — 332 с.

16. Качурин Н.М., Стась Г.В., Корчагина Т.В., Змеев М.В. Геомеханические и аэрогазодинамические последствия подработки территорий горных отводов шахт Восточного Донбасса // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. — 2017. — №1. — С. 170–182.

17. Голик В.И., Разоренов Ю.И., Бригада В.С., Бурдзиева О.Г. Механохимическая технология добычи металлов из хвостов обогащения // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. — 2020. — Т. 331. — №6. — С. 175–183.

18. Дмитрак Ю.В., Габараев О.З., Разоренов Ю.И., Стась Г.В. К проблеме выщелачивания металлов из некондиционного

сырья // Вектор геонаук. — 2019. — Т. 2. — №3. — С. 32–39.

19. Моркун В.С., Моркун Н.В., Пикильняк А.В. Адаптивная система управления процессом обогащения руд на основе алгоритма проекции Качмарца // Metallургическая и горнодобывающая промышленность. — 2015. — №7 (2). — С. 35–38.

20. Гавришев С.Е., Корнилов С.Н., Пыталев И.А., Гапонова И.В. Повышение экономической эффективности горнодобывающих предприятий за счет вовлечения в эксплуатацию техногенных георесурсов // Горный журнал. — 2017. — №12. — С. 46–51.

## References

1. Golik V.I., Ermolenko A.A., Lazovskij V.F. Organizacionno-jekonomicheskie problemy ispol'zovanija prirodnyh resursov Juzhnogo Federal'nogo okruga [Organizational and economic problems of the use of natural resources of the Southern Federal District]. — Krasnodar: izd-vo JuIM, 2008. — 328 p.

2. Razorenov Ju. I., Golik V.I., Kulikov M.M. Jekonomika i menedzhment gornoj promyshlennosti [Economics and management of the mining industry]. — Novocherkassk: JURGTU (NPI), 2010. — 251 p.

3. Shul'gatyj L. P., Razorenov Ju. I., Dzeranov B. V., Dzaparov V.H. Jekonomiko-tehnologicheskie problemy gornyh otraslej regionov juga Rossii [Economic and technological problems of mining industries in the regions of Southern Russia] // v sb. nauch. tr.: Social'no-jekonomicheskie problemy razvitija juzhnogo makroregiona [in the collection of scientific papers: Socio-economic problems of the development of the southern macroregion]. — Krasnodar, 2017. — Pp. 155–163.

4. Razorenova E. Ju., Babkin A.V. Predlozhenija po rasshireniju mineral'no-syr'evoj bazy ugledobyvajushhih predpriyatij [Proposals for expanding the mineral resource base of coal-mining enterprises] // v sb.: Nedelja nauki SPbPU. Materialy nauchnoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem. Institut promyshlennogo menedzhmenta, jekonomiki i trgovli. V 3-h chastjah [Materials of the scientific conference with international participation. Institute of Industrial Management, Economics and Trade. In 3 parts]. — 2019. — Pp. 687–690.

5. Abramkin N.I., Abramkina A.N., Vashhenko K.S. Osnovnye aspekty ispol'zovaniya bajesovskogo podhoda pri monitoringe tehnologicheskikh sistem ugol'nyh shaht [The main aspects of the use of the Bayesian approach in monitoring technological systems of coal mines] // Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten' (nauchno-tehnicheskij zhurnal) [Mining Information and analytical Bulletin (scientific and technical journal)]. — 2015. — №7. — Pp. 5–10.
6. Belodedov A.A., Dolzhikov P.N., Legostaev S.O. Analiz mehanizma obrazovaniya deformacij zemnoj poverhnosti nad gornymi vyrabotkami zakrytyh shaht [Analysis of the mechanism of formation of deformations of the earth's surface over the mining workings of closed mines] // Izvestija Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle. — 2017. — №1. — Pp. 160–169.
7. Molev M.D., Zanina I.A., Iliev A.G., Chertov Ju. E. Ocenka riska dlja naselenija Rostovskoj oblasti pri likvidacii besperspektivnyh ugol'nyh shaht [Risk assessment for the population of the Rostov region during the liquidation of unpromising coal mines] // Abstract Salvensis. — 2017. — Vol. 2017. — Pp. 139–150.
8. Vorob'ev S. A., Kachurin N.M. Zarubezhnyj opyt issledovaniya problem kompleksnogo osvoenija ugol'nyh mestorozhdenij podzemnym sposobom [Foreign experience in the study of the problems of integrated development of coal deposits by underground mining] // Gornyj zhurnal [Mining journal]. — 2016. — №5. — Pp. 78–85.
9. Golik V.I., Komashhenko V.I., Stradanchenko S.G., Maslennikov S.A. Povyshenie polnoty ispol'zovaniya neдр putem glubokoj utilizacii othodov obogashhenija uglja [Increasing the efficiency of the subsoil by deep disposal of waste coal] // Gornyj zhurnal [Mining journal]. — 2012. — №9. — Pp. 91–95.
10. Komashhenko V.I., Razorenov Ju. I. O probleme kompleksnogo ispol'zovaniya othodov dobychi i hvostov obogashhenija [On the problem of complex use of mining waste and tailings of enrichment] // v sb.: Povyshenie kachestva obrazovaniya, sovremennye innovacii v nauke i proizvodstve. Sbornik trudov Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii [in sb.: Improving the quality of education, modern innovations in science and production. Collection of proceedings of the International Scientific and Practical Conference]. — 2017. — Pp. 41–44.
11. Razorenov Ju. I., Zemljanoj M.A. Metodika vybora napravlenija razvitiya gornyh rabot v plane i v uglubke (na primere novorossijskogo mestorozhdenija mergelej) [Methodology for choosing the direction of development of mining operations in the plan and in the depth (on the example of the Novorossiysk marl deposit)] // Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten' [Gornyj information and analytical Bulletin]. — 2009. — №6. — Pp. 411–416.
12. Komashhenko V.I. Jekologo-jekonomicheskaja celesoobraznost' utilizacii gornopromyshlennyh othodov s cel'ju ih pererabotki [Ekologo-ekonomicheskaya expediency of utilization of mining waste for the purpose of their processing] // Izvestija Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle [Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Earth science]. — 2015. — №4. — Pp. 23–30.
13. Golik V.I., Doolin A.N., Komissarova M.A., Doolin R.A. Evaluating the effectiveness of utilization of mining waste // International Business Management. — 2015. — Vol. 9. — №6. — Pp. 1119–1123.
14. Kaplunov D.R., Kachurin N.M., Efimov V.I., Kachurin A.N. Proektnye predlozhenija po sozdaniju jenergeticheskogo predpriyatija, ispol'zujushhego sistemu «degazacija — gazo-turbinnaja jelektrostantsija» [Project proposals for the creation of an energy enterprise using the system «degassing-gas turbine power plant»] // Izvestija Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle [Proceedings of the Tula State University. Earth Sciences]. — 2019. — №1. — Pp. 151–162.
15. Kaplunov D.R., Mel'nik V. V., Ryl'nikova M. V. Kompleksnoe osvoenie neдр [Complex development of mineral resources]. — Tula: Izd-vo TulGU, 2016. — 332 p.
16. Kachurin N.M., Stas' G. V., Korchagina T. V., Zmeev M. V. Geomechanicheskie i ajerogazodinamicheskie posledstvija podrabotki territorij gornyh otvodov shaht Vostochnogo Donbassa [Geomechanical and aerogasodynamic consequences of mining the territories of mining branches of the mines of the Eastern Donbass] // Izvestija Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle [Proceedings of the Tula State University. Earth Sciences]. — 2017. — №1. — Pp. 170–182.
17. Golik V.I., Razorenov Ju. I., Brigida V.S., Burdzieva O. G. Mehanohimicheskaja tehnolog-

ija dobychi metallov iz hvostov obogashhenija [Mechanochemical technology of extraction of metals from tailings of enrichment] // Izvestija Tomskogo politehnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov [Proceedings of the Tomsk Polytechnic University. Engineering geo-resources]. — 2020. — Vol. 331. — №6. — Pp. 175–183.

18. *Dmitrak Ju. V., Gabaraev O.Z., Razorenov Ju. I., Stas' G. V.* K probleme vyshhelachivaniya metallov iz nekondicionnogo syr'ja [To the problem of leaching of metals from substandard raw materials] // Vektor geonauk [Vector of Geosciences]. — 2019. — Vol. 2. — №3. — Pp. 32–39.

19. *Morkun V.S., Morkun N. V., Pikil'njak A. V.* Adaptivnaja sistema upravlenija processom

obogashhenija rud na osnove algoritma proekcii Kachmarca [Adaptive control system of the process of enrichment of ores based on the projection algorithm of Kaczmarz] // Metallurgicheskaja i gornodobyvajushhaja promyshlennost' [Metallurgical and mining industry]. — 2015. — №7(2). — Pp. 35–38.

20. *Gavrishev S.E., Kornilov S.N., Pytalev I.A., Gaponova I.V.* Povyshenie jekonomicheskoj jeffektivnosti gornodobyvajushhih predpriyatij za schet vovlechenija v jekspluataciju tehnogennyh georesursov [Improving the economic efficiency of mining enterprises by involving technogenic georesources in operation] // Gornyj zhurnal. — 2017. — №12. — Pp. 46–51.

Поступила в редакцию

16 ноября 2020 г.



**Шурыгин Дмитрий Николаевич** — доктор технических наук, профессор кафедры «Горное дело» Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) имени М. И. Платова. Специалист в области экономической оценки месторождений полезных ископаемых.

**Shurygin Dmitry Nikolaevich** — Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department of Mining, Platov South Russian State Polytechnic University (NPI). Specialist in the field of economic evaluation of mineral deposits.

346428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132  
132 Prosveshcheniya st., 346528, Novocherkassk, Russia  
E-mail: shurygind@mail.ru



**Логачев Александр Владимирович** — кандидат технических наук, доцент кафедры «Горное дело» Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) имени М. И. Платова. Специалист в области обогащения полезных ископаемых.

**Logachev Alexander Vladimirovich** — Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Mining, Platov South Russian State Polytechnic University (NPI). Specialist in the field of mineral processing.

346428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132  
132 Prosveshcheniya st., 346528, Novocherkassk, Russia  
E-mail: shurygind@mail.ru



**Разоренова Екатерина Юрьевна** — магистрант высшей инженерно-экономической школы Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого. Специалист в области экономического менеджмента.

**Razorenova Ekaterina Yurievna** — Graduate Student of the Higher School of Engineering and Economics, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University. Specialist in the field of economic management.

195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29  
29 Politekhnikeskaya st., 195251, St. Petersburg, Russia  
E-mail: krazoryonova@mail.ru