

ISSN 2500-0632 (ON-LINE)

TOM 4, №4
VOL. 4, №4
2019



MINING SCIENCE AND TECHNOLOGY (RUSSIA)

GORNYYE NAUKI I TEKHNologii
ГОРНЫЕ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИИ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИСИС»
NATIONAL UNIVERSITY OF SCIENCE
AND TECHNOLOGY MISIS

CONTENTS

ORIGINAL PAPERS

EXPLOITATION OF MINERAL RESOURCES

- Combined Mining Technologies for Coal Deposits (Review)**..... 230
A. Yu. Ermakov, V. V. Senkus, Duc Thang Pham, Val. V. Sencus, N. I. Abramkin, E. A. Ermakov

ROCK CHARACTERISTICS. GEOTECHNIC SURVEY AND GEOPHYSICS

- Study of Rock Mass Stability Decrease due to Underground Mining**..... 251
V. I. Golik, S. A. Maslennikov, Alberto Martin Nunez Rodriguez, V. I. Anischenko

MINING MACHINERY, TRANSPORT, AND MECHANICAL ENGINEERING

- New Solutions for Mine Transport for the Transition to In-Line Mining of Minerals**..... 262
A. A. Asanov, E. S. Gumennikov

MINERAL DEPOSIT GEOLOGY

- Method for Revealing Placer Gold Source**..... 273
O. V. Vladimirtseva

- Geochemical Anomaly of Cobalt and Nickel in the Area of Chernogorsky Jewelry Scapolite Deposit, Central Pamir (Tajikistan)**..... 282
Sh. A. Odinaev, A. K. Litvinenko, A. A. Vercheba, U. A. Yatimov

PROCESS SAFETY IN MINING AND PROCESSING INDUSTRY AND ENVIRONMENTAL PROTECTION

- The Influence of Tailings Storage Facilities in the Eastern Part of Jiu Valley on the Water Quality**..... 292
A. F. Simion, C. Drebenstedt, M. Lazar

- Driver Safety System Implementation in Europe**..... 302
L. Manthey, D. M. Popov

- Hydrothermal Minerals Mapping using based on Remotely Sensed Data from Sentinel 2 Sattelite: a Case Study in Vinh Phuc Province, Northern Vietnam**..... 309
Le Hung Trinh

PROFESSIONAL PERSONNEL TRAINING

- Scientific and Educational Cooperation between Russia and Germany. Results of 2019**..... 318
V. L. Petrov, V. S. Komarov

СОДЕРЖАНИЕ

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

РАЗРАБОТКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

- Комбинированные технологии разработки угольных месторождений (обзор).....** 230
Ермаков А. Ю., Сенкус В. В., Фам Дык Тхань, Сенкус Вал. В., Абрамкин Н. И., Ермаков Е. А.

СВОЙСТВА ГОРНЫХ ПОРОД, ГЕОМЕХАНИКА И ГЕОФИЗИКА

- Исследование ослабленности массива пород при подземной добыче руд.....** 251
Голик В. И., Масленников С. А., Нуньес Родригес Альберто Мартин, Анищенко В. И.

ГОРНЫЕ МАШИНЫ, ТРАНСПОРТ И МАШИНОСТРОЕНИЕ

- Новые решения в области рудничного транспорта для перехода к поточной обработке полезных ископаемых.....** 262
Асанов А. А., Гуменников Е. С.

ГЕОЛОГИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

- Метод определения источника россыпного золота.....** 273
Владимирцева О. В.

- Геохимическая аномалия кобальта и никеля на площади Черногорского месторождения ювелирного скаполита, Центральный Памир (Таджикистан).....** 282
Одинаев Ш. А., Литвиненко А. К., Верчеба А. А., Ятимов У. А.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ В МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОМ КОМПЛЕКСЕ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

- Влияние хвостохранилищ в восточной части долины Джиу на качество воды.....** 292
Симион А. Ф., Дребенштедт К., Лазар М.

- Внедрение системы безопасности водителя в Европе.....** 302
Манте Л., Попов Д. М.

- Картирование гидротермальных минералов по данным дистанционного (спутникового) зондирования с использованием спектрозонального прибора Сентинель 2 на примере провинции Винь-Пхук, Северный Вьетнам.....** 309
Чинь Ле Хунг

ПОДГОТОВКА ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КАДРОВ. ОРГАНИЗАЦИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

- Научно-образовательные партнёрства России и Германии. Итоги 2019 года.....** 318
Петров В. Л., Комаров В. С.

ORIGINAL PAPERS

DOI: 10.17073/2500-0632-2019-4-230-250

Комбинированные технологии разработки угольных месторождений (обзор)

Ермаков А. Ю.¹, Сенкус В. В.², Фам Дык Тхань³, Сенкус Вал. В.⁴,
Абрамкин Н. И.⁵, Ермаков Е. А.⁶

¹ООО НПП «ЭкоКузбасс», Новокузнецк, Россия²Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия³Промышленный Университет Куанг Нинь, Куанг Нинь, Вьетнам⁴ООО «Проектгидроуголь-Н», г. Новокузнецк, Россия⁵НИТУ «МИСиС», Москва, Россия⁶ООО «СУЭК», Москва, Россия

Аннотация: В статье рассматриваются основные недостатки открытого и подземного способов, ликвидации которых можно добиться при внедрении комбинированной технологии разработки угольных месторождений. Под комбинированной технологией понимают такой способ освоения угольных месторождений, который включает в себя элементы нескольких геотехнологий, например подземной и открытой, а также, возможно, подводной добычи, скважинной и других способов разработки месторождений. При комбинированной технологии разработки угольных месторождений предусматривается единая схема вскрытия, подготовки, добычи и переработки запасов на весь период освоения месторождения на основе принятых заранее общих технологических решений. Комплексное решение аспектов вскрытия и подготовки запасов полей в рамках открытых и подземных горных работ позволяет минимизировать объем вскрываемых выработок и сократить сроки введения в эксплуатацию, снизить инвестиционные затраты, а также сократить расходы на вентиляцию, водоотлив, транспортировку горной массы и рекультивацию земель. Обосновывая варианты вскрытия месторождения, необходимо комплексно учитывать технические, организационные и экономические факторы [34–37]. Анализ вариантов на примере разработки Макарьевского угольного месторождения в Кузбассе позволяет сделать вывод о том, что комбинированный способ является перспективным и позволяет нарастить оптимальные объемы добычи угля, при этом сократить срок освоения месторождения ориентировочно на 15 %, а чистый дисконтированный доход увеличить по сравнению с подземным и открытым способами более чем в 5 раз.

Ключевые слова: добыча угля, открытая и подземная разработка, комбинированная технология, Макарьевское месторождение.

Для цитирования: Ермаков А. Ю., Сенкус В. В., Фам Дык Тхань, Сенкус Вал. В., Абрамкин Н. И., Ермаков Е. А. Комбинированные технологии разработки угольных месторождений (обзор). *Горные науки и технологии*. 2019;4(4):230-250. DOI: 10.17073/2500-0632-2019-4-230-250.

Combined Mining Technologies for Coal Deposits (Review)

A. Yu. Ermakov¹, V. V. Senkus², Duc Thang Pham³, Val. V. Sencus⁴,
N. I. Abramkin⁵, E. A. Ermakov⁶

¹NPP EcoKuzbass LLC, Novokuznetsk, Russia²"SibGIU" FSBEI of Higher Education, Novokuznetsk, Russia³Quang Ninh University of Industry, Quang Ninh, Vietnam⁴Projectgidrougol'-N LLC, Novokuznetsk, Russia⁵NITU "MISIS", Moscow, Russia⁶Siberian Coal Energy Company JSC, Moscow, Russia

Abstract: The paper discusses the main disadvantages of strip and underground mining methods and possibilities of eliminating the disadvantages through introducing a combined technology of coal deposit mining. Combined coal mining technology is the method comprising elements of several geotechnologies, for example, underground



and strip mining, as well as, possibly, underwater mining, borehole and other techniques of deposit mining. The combined coal mining technology provides for unified layout for opening, development, production and processing of reserves for the whole LoM on the basis of general technological solutions made in advance. Such complex solutions for opening and development of deposit reserves within the opencast and underground mining contour allows minimizing the volume of openings and reducing the time for commissioning, investment costs, as well as decreasing the costs for aeration, drainage, rock mass hauling and land reclamation. Substantiation of deposit opening options should comprehensively take into account technical, organizational, and economic factors [34–37]. Analysis of the options as exemplified by the Makar'evskoe coal deposit development in Kuzbass allows to conclude that the combined method is promising and promotes increasing optimal volumes of coal production, while reducing the deposit development time by about 15 %, and increase the net present value compared to underground and opencast mining options more than 5 times.

Keywords: coal mining, strip and underground mining, combined method, Makar'evskoe deposit.

For citation: Ermakov A. Yu., Senkus V. V., Pham Duc Thang, Sencus Val. V., Abramkin N. I., Ermakov E. A. Combined mining technologies for coal deposits (review). *Gornye nauki i tekhnologii = Mining Science and Technology (Russia)*. 2019;4(4):230-250. (In Russ.). DOI: 10.17073/2500-0632-2019-4-230-250.

Обзор условий использования комбинированной технологии разработки угольных месторождений

Мировая угольная промышленность находится на стадии интенсивного развития, и большинство угледобывающих стран, наращивая добычу угля, создают условия для технического перевооружения и внедрения прогрессивных технологий [1–9]. Многообразие технологических решений добычи угля, безусловно, определяется индивидуальностью месторождений, но в последнее время все чаще возникают задачи применять более сложные технологические решения, позволяющие наиболее эффективно использовать ресурсы месторождения, реализуя безопасную его отработку [10–21]. Комплекс задач, связанный с необходимостью поиска решений в разных областях деятельности горного предприятия, подразумевает принятие стратегических решений на самых ранних стадиях освоения месторождений [8–9, 11–32, 34, 35].

Под комбинированной технологией понимают такой способ освоения угольного месторождения, который включает в себя элементы нескольких геотехнологий, например подземной и открытой, а также, возможно, подводной добычи, скважинной и других способов разработки месторождений. При комбинированной технологии разработки угольных месторождений предусматривается единая

схема вскрытия, подготовки, добычи и переработки запасов на весь период освоения месторождения на основе принятых заранее общих технологических решений.

Обосновывая варианты вскрытия месторождения, необходимо комплексно учитывать технические, организационные и экономические факторы [34–37].

В зависимости от принятой схемы вскрытия месторождения определяют технологические схемы вентиляции подземных выработок, системы шахтного водоотлива и транспорта. Так, для обеспечения проветривания горных выработок при значительных размерах синклинали нижней свиты пластов сохраняют спаренные выработки верхних пластов, оставляя предохранительные целики по бортам и почве выработок. Проводят сбойку этих выработок с нижними вентиляционными выработками [34–36].

Особенностью вентиляции комбинированной технологии является обеспечение этапности перехода проветривания горных выработок от вентиляторов местного проветривания при подготовке и отработке запасов верхнего горизонта к стационарным вентиляторам для проветривания горных выработок нижних горизонтов, устанавливаемым на фланговых скважинах или стволах.

Исследования проявлений горного давления при комбинированной разработке угольных месторождений позволяют прогнозировать опасные зоны в приконтурной зоне горного массива разреза, оценивая скорость смещения пород под влиянием взрывных работ.

На стадии проектирования важной становится задача оптимизации глубины открытых работ, от которой зависят распределение запасов по видам открытых и подземных работ на протяжении отработки угольного месторождения, затраты на рекультивацию земель и многие другие технико-экономические показатели. Критерием оптимизации служит чистый дисконтированный доход за время разработки месторождения [31–36].

В качестве примера развития комбинированной технологии разработки угольных месторождений в статье рассматриваются условия Макарьевского месторождения в Кузбассе (Россия).

Основы комбинированной разработки угольных месторождений

Исторически сложилось, что основным способом добычи угля является подземный. К середине XX в., когда была создана машиностроительная база для угольной промышленности, разработаны мощные экскаваторы, драглаины и другая горная техника для открытых работ. Это способствовало постепенному вытеснению подземного способа добычи угля открытым как наиболее эффективным. В настоящее время, например, в российском Кузбассе открытым способом добывается 65 % угля с производительностью 2–6 млн т в год [34–36].

В последние три десятилетия подземными разработчиками были созданы механизированные комплексы, струги и другие агрегаты для подземной добычи угля, имеющие сопоставимые по производительности показатели с техникой открытых работ от 1,5 до 6,0 млн т в год в зависимости от мощности пластов и горно-геологических условий залегания угольного месторождения [10].

Присущие открытому способу недостатки – малая глубина разработки (100–120 м), загрязнение окружающей среды, вывод больших площадей из землепользования, а также практическое отсутствие рекультивации нарушенных земель – не встречают поддержку населения при получении горных отводов, что вызывает социальную напряженность в обществе, требующем благоприятной окружающей среды для проживания.

Высокая стоимость строительства угольных шахт, опасность производства и другие недостатки, присущие подземному способу не привлекают инвесторов, поэтому направление разработки месторождений комбинированным способом является перспективным.

Широкое распространение комбинированные технологии получили при разработке рудных месторождений, но в угольной промышленности подобная технология применяется единичных случаях, в основном при доработке запасов в бортах разрезов. Комплексное освоение угольных месторождений комбинированными технологиями в угольной промышленности не проводилось.

Особенность комбинированной технологии заключается в формировании единого технологического пространства участков или этапов с разными геотехнологиями, например разреза и шахты, находящихся в непосредственной близости, взаимовлияния разреза и шахты [36].

Анализ существующих способов комбинированной разработки угольных месторождений демонстрирует, что технологические решения, технические средства и подходы при вскрытии и подготовке месторождения, создание систем водоотлива и проветривания горных выработок, непосредственно добычи угля, а также используемые при выполнении производственных процессов и операций, остаются аналогичными при реализации открытой и подземной добычи.

Вскрытие угольного месторождения при комбинированной технологии характеризуется следующими особенностями:

- наличие пространств открытых и подземных горных работ;

- увеличенные размеры зон нарушенных, вовлекаемых в процесс деформирования массива под влиянием горных работ;

- зависимость распределения запасов по способам разработки от принятого порядка освоения месторождения [37–45].

При комплексном освоении запасов угольных месторождений комбинированными технологиями проектные решения должны быть гармонизированы со способами, системами разработки и выемки угля, в том числе:

- размещение вскрывающих выработок с учетом перспектив развития горных работ, разреза и шахты с точки зрения их функционирования на всех этапах разработки месторождения с учетом углов падения пластов;

- обоснование параметров технологических схем совместного водоотлива, транспорта и вентиляции;

- обоснование глубины разреза, что обеспечивает снижение затрат на рекультивацию земель, сокращение срока эксплуатации предприятия;

- обоснование безопасного расстояния ухода открытых работ от подземных, что позволяет совместить во времени открытые, подземные и рекультивационные работы, разделив их в пространстве.

Вскрытие угольных месторождений при комбинированной системе разработки

Месторождения в зависимости от гипсометрии принципиально могут быть вскрыты тремя комбинированными способами, представленными на рис. 1–3.

Комплексная разработка свит пологих, наклонных и крутых пластов месторождения включает в себя:

- вскрытие пластов продольной разрезной траншеей по простиранию и их отработку;

- вскрытие и подготовку пластов подземными горными выработками и их отработку;

- рекультивацию открытых горных выработок;

- отработку мощного пласта до границы горного отвода;

- вскрытие нижележащих пластов дополнительной разрезной траншеей и (или) штольнями со дна разрезной траншеи мощного пласта [34–37, 43].

Рекультивацию открытых горных выработок производят поэтапно путем возврата в обратном порядке вскрывных пород и плодородного слоя после выполаживания бортов разрезной траншеи по мере отработки месторождения.

Комплексный способ разработки свит пластов антиклинальных месторождений заключается в следующем:

- вскрытие пластов проводят разрезной траншеей по линии перегиба антиклинали до глубины залегания нижнего пласта;

- вскрытие свиты пластов осуществляют по обе стороны антиклинали спаренными наклонными стволами, проводимыми из разрезной траншеи по пластам;

- при отработке пластов подземным способом используют панельную и (или) погоризонтную (при пологом залегании пластов), этажную и подэтажную (при крутом залегании пластов) системы разработки с механизированной выемкой угля на пологих и гидравлической и (или) слоевой механизированной на крутых пластах с полным обрушением кровли;

- водосборники шахтного водоотлива обустраивают в нижних точках стволов по обе стороны антиклинали и оснащают устройствами для обезвоживания горной массы при гидравлической и (или) механогидравлической выемке угля [41–42].

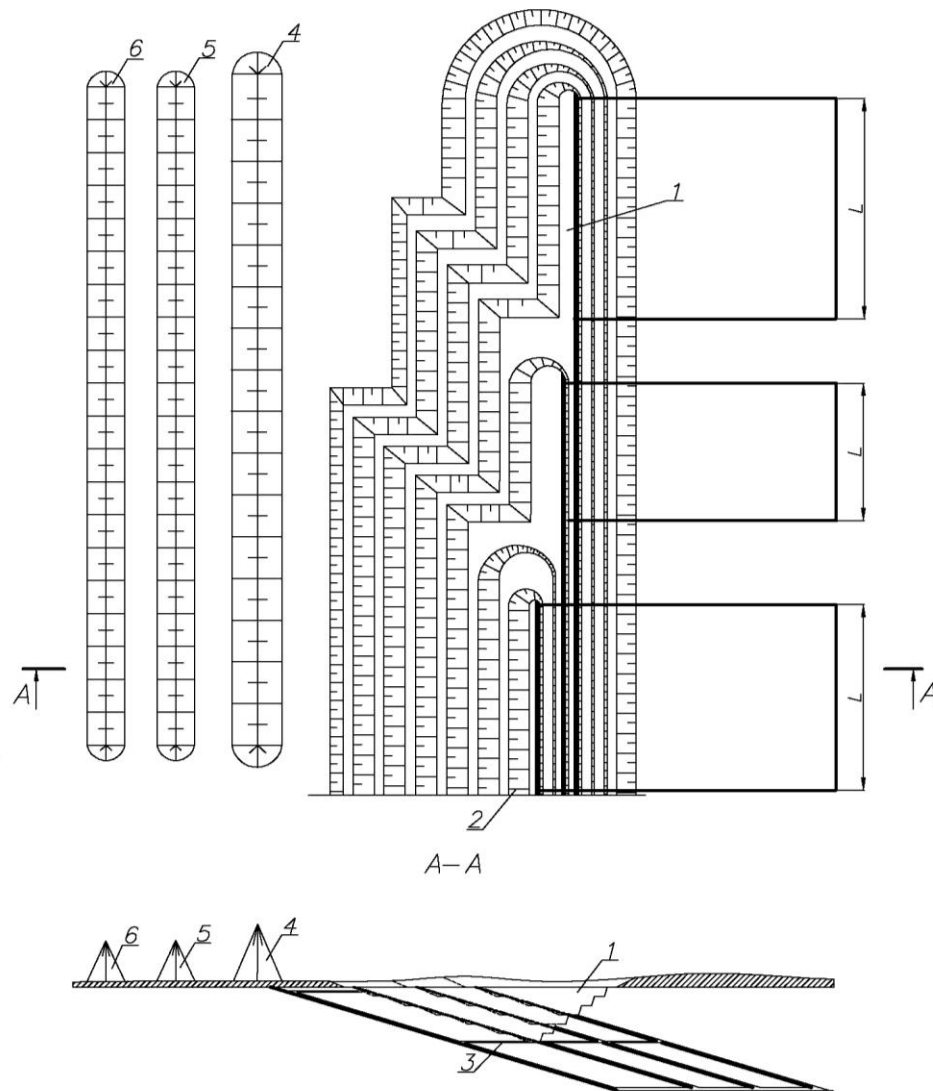


Рис. 1. Комплексный способ разработки свит пологих и крутых пластов месторождения:

1 – разрезная траншея; 2 – дополнительная разрезная траншея; 3 – штольня;
4 – коренные породы; 5 – наносы; 6 – плодородный слой

Fig. 1. Complex method for extraction of gently sloping and steeply dipping coal seams of the deposit:

1 – working trench; 2 – additional working trench; 3 – adit; 4 – bedrock; 5 – sediment; 6 – fertile soil layer

Комплексный способ разработки свит пологих пластов синклинальных и брахисинклинальных месторождений включает в себя разработку синклинального и (или) брахисинклинального месторождения. Вскрытие и подготовку свиты пластов проводят двумя разрезными траншеями и сбивают спаренными подземными горными выработками. Выработки проводятся по пластам через нижние точки мульд синклиналей пластов и (или) близко к ним. Для улучшения проветривания, доставки материалов и перепуска шахтного притока в нижнюю точку последнего пласта проходят

дополнительные выработки или бурят специальные скважины [42].

Подготовку пластов осуществляют по горизонтной и (или) панельной схеме, отработку пластов подземным способом ведут длинными столбами. В зависимости от угла падения по простиранию и (или) падению механизированным способом с полным обрушением кровли. Выемку угля в зонах нарушений, предохранительных и барьерных целиках производят короткими забоями механическим, механогидравлическим и (или) гидравлическим способами.

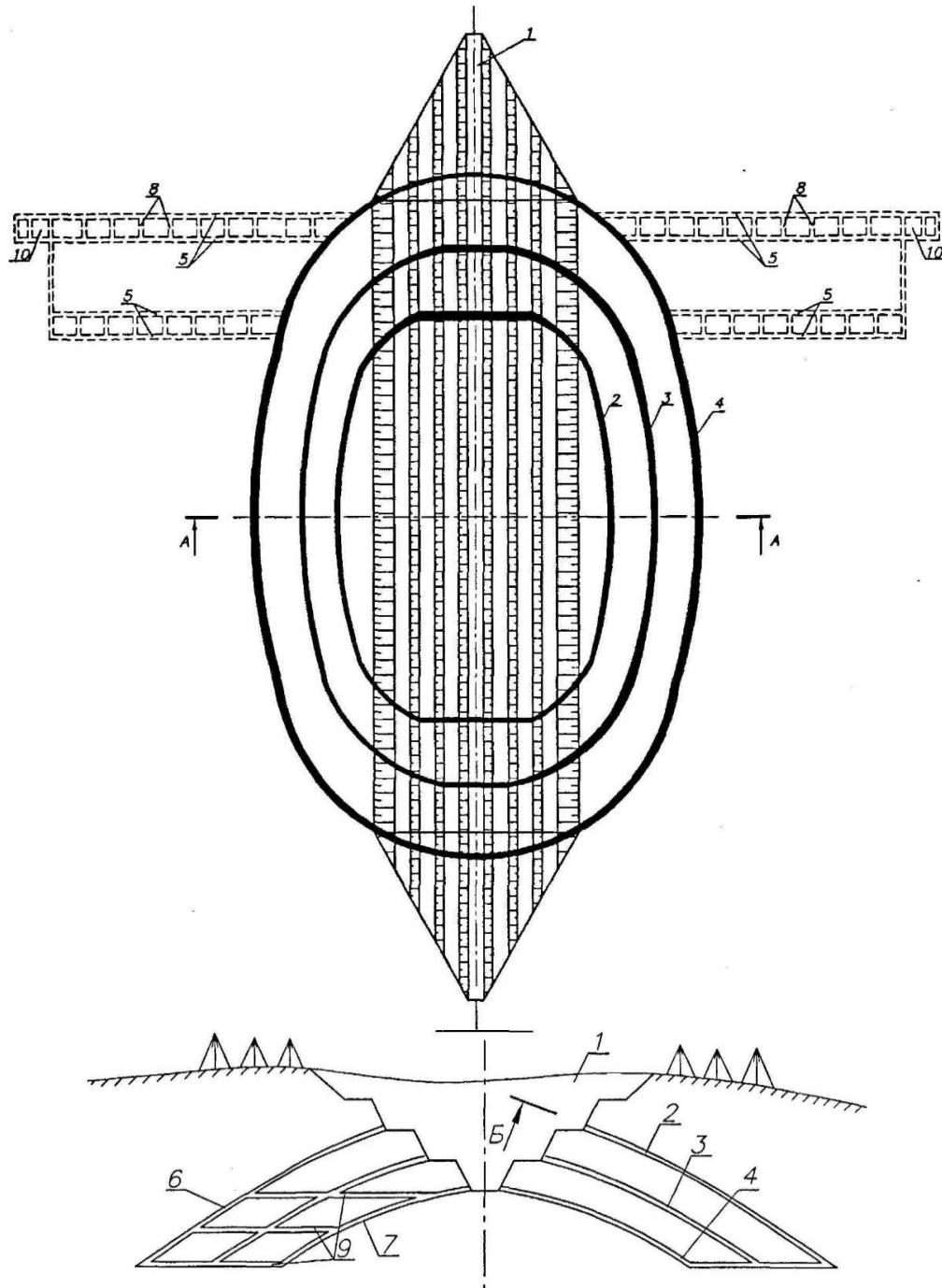


Рис. 2. Комплексный способ разработки свит пластов антиклинальных месторождений:

1 – продольная разрезная траншея; 2, 3, 4 – пласты угля; 5 – спаренные наклонные стволы; 6 – верхний пласт (при крутом падении); 7 – нижний пласт (при крутом падении); 8 – сбойки; 9 – квершлаг; 10 – водосборник шахтного водоотлива

Fig. 2. Complex method for extraction of coal seams of anticlinal deposits:

1 – longitudinal working trench; 2, 3, 4 – coal seams; 5 – paired incline shafts; 6 – upper seam (at steep dip); 7 – lower seam (at steep dip); 8 – cross headings; 9 – cross drift; 10 – mine drainage drain sump

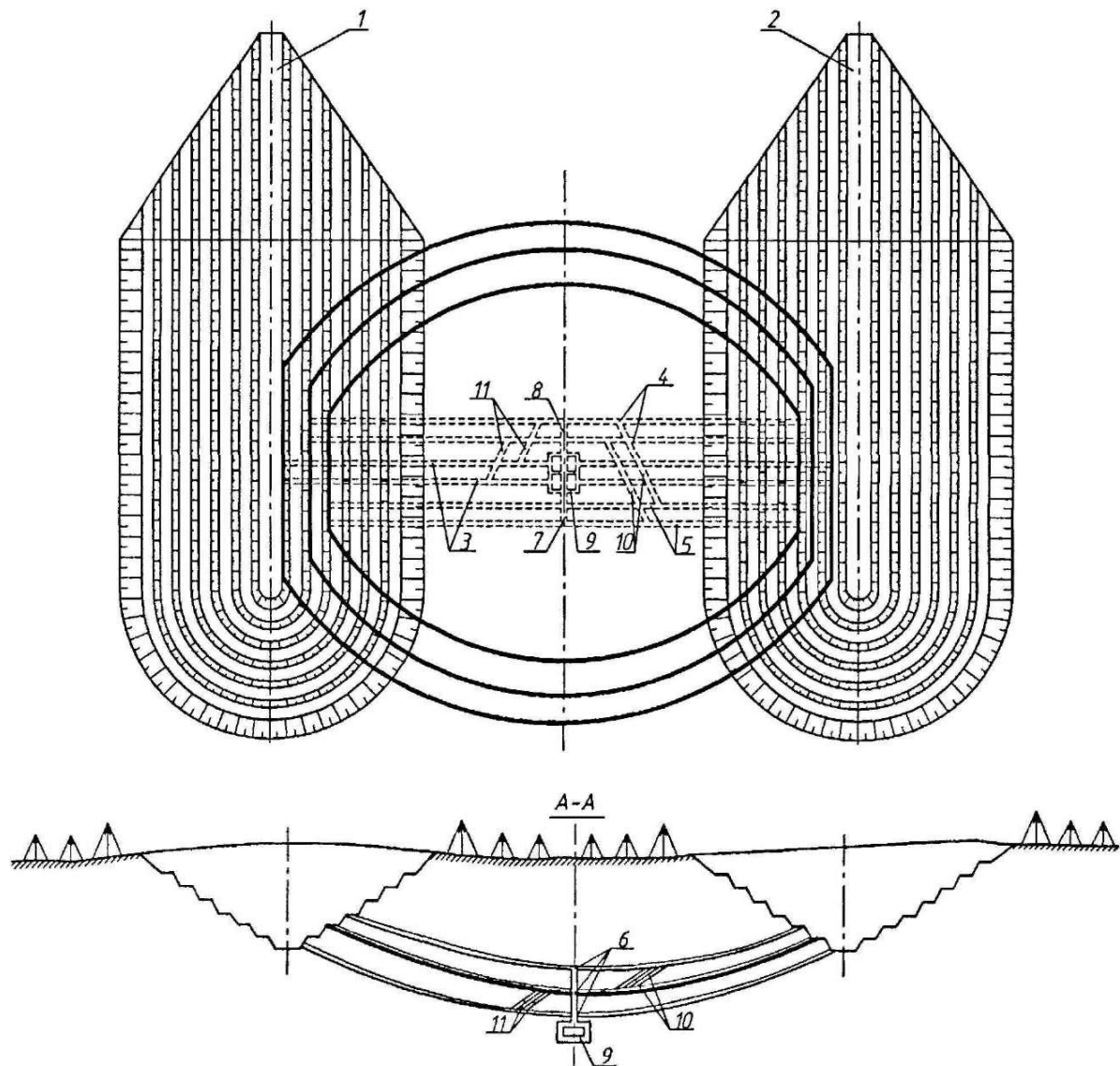


Рис. 3. Комплексный способ разработки свит пологих пластов синклиналичных и брахисинклиналичных месторождений:

1, 2 – разрезные траншеи; 3, 4, 5 – спаренные подземные горные выработки;
 6 – нижняя точка синклинали пластов; 7, 8 – скважины; 9 – водосборник; 10, 11 – вентиляционные выработки

Fig. 3. Complex method for extraction of gently sloping coal seams of synclinal and brachysynclinal deposits:

1, 2 – working trenches; 3, 4, 5 – paired underground mine workings; 6 – lower point of the seam syncline;
 7, 8 – boreholes; 9 – drain sump; 10, 11 – air courses

Для обеспечения проветривания при больших размерах синклинали нижних пластов спаренные выработки верхних пластов сохраняют путем оставления предохранительных целиков по бортам и почве выработок, сбивают их с нижними вентиляционными выработками и используют как фланговые вентиляционные стволы [48–53].

Системы проветривания подземных выработок при комбинированной системе разработки угольных месторождений

В зависимости от принятой схемы вскрытия месторождения принимаются технологические схемы проветривания подземных выработок, шахтного водоотлива и транспорта.

Схемы проветривания при комбинированном способе разработки месторождений [35, 52–53] представлены на рис. 4–6.

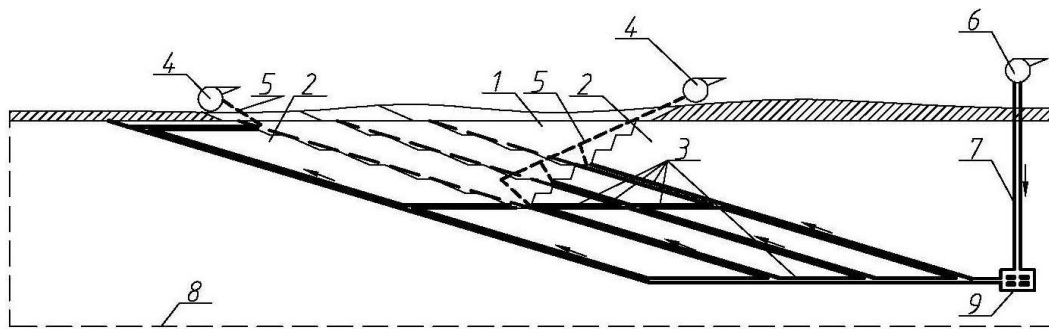


Рис. 4. Вентиляция подземных горных выработок при комбинированном способе разработки месторождений пологих, наклонных и крутых пластов угля:

1 – разрез (открытые работы); 2 – шахта (подземные работы); 3 – горные выработки; 4 – вспомогательный вентилятор; 5 – вентиляционные выработки; 6 – вентилятор главного проветривания; 7 – вентиляционный ствол (скважина); 8, 10 – граница горного отвода; 9 – распределительная камера

Fig. 4. Aeration of underground mine workings for the combined method for extraction of gently sloping and steeply dipping coal seams of the deposit:

1 – opencast coal mine (open-casting); 2 – underground mine (underground mining); 3 – mine workings; 4 – auxiliary fan; 5 – air courses; 6 – main fan; 7 – air shaft (borehole); 8, 10 – mining lease boundary; 9 – air plenum

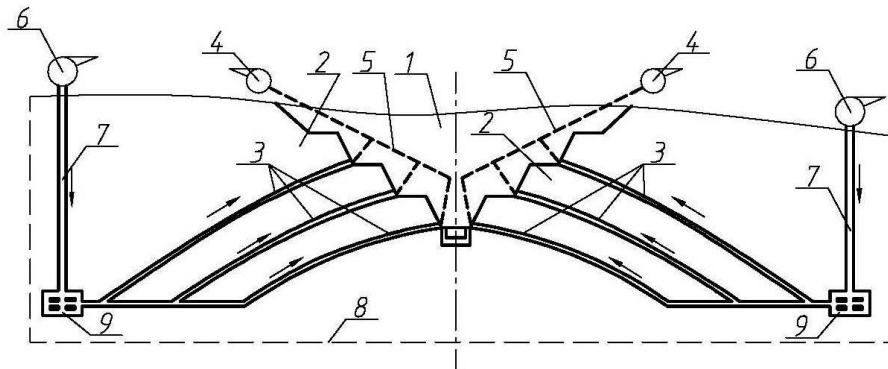


Рис. 5. Вентиляция подземных горных выработок при комбинированном способе разработки антиклинальных угольных месторождений:

1 – разрез (открытые работы); 2 – шахта (подземные работы); 3 – горные выработки; 4 – вспомогательный вентилятор; 5 – вентиляционные выработки; 6 – вентилятор главного проветривания; 7 – вентиляционный ствол (скважина); 8, 10 – граница горного отвода; 9 – распределительная камера

Fig. 5. Aeration of underground mine workings for the combined method for extraction of coal seams of anticlinal deposits:

1 – opencast coal mine (open-casting); 2 – underground mine (underground mining); 3 – mine workings; 4 – auxiliary fan; 5 – air courses; 6 – main fan; 7 – air shaft (borehole); 8, 10 – mining lease boundary; 9 – air plenum

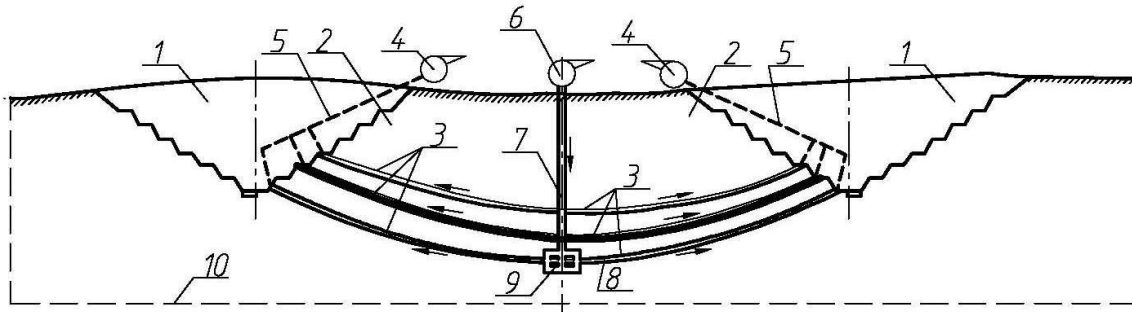


Рис. 6. Вентиляция подземных горных выработок при комбинированном способе разработки синклиналичных угольных месторождений:

1 – разрез (открытые работы); 2 – шахта (подземные работы); 3 – горные выработки; 4 – вспомогательный вентилятор; 5 – вентиляционные выработки; 6 – вентилятор главного проветривания; 7 – вентиляционный ствол (скважина); 8, 10 – граница горного отвода; 9 – распределительная камера

Fig. 6. Aeration of underground mine workings for the combined method for extraction of coal seams of synclinal deposits:

1 – opencast coal mine (open-casting); 2 – underground mine (underground mining); 3 – mine workings; 4 – auxiliary fan; 5 – air courses; 6 – main fan; 7 – air shaft (borehole); 8, 10 – mining lease boundary; 9 – air plenum

Особенностями вентиляции при комбинированной технологии являются этапы перехода проветривания от вентиляторов местного проветривания при подготовке и отработке запасов верхнего горизонта к стационарным для проветривания горных выработок нижних горизонтов, устанавливаемым на фланговых скважинах или стволах.

Стволы (скважины) проходятся рядом с водоотливными выработками, которые находятся ниже основных на 5–10 м, где обустраивается распределительная камера, обеспечивающая с помощью перемычек, сбоек раздачу воздуха в основные выработки. Исходящая струя выбрасывается в рабочую зону разреза.

При проветривании горных выработок следует соблюдать следующие правила.

1. Необходимо располагать главную вентиляционную установку вне зоны влияния атмосферы разреза. Целесообразно использование воздухоподающих скважин (так как скорость воздуха не ограничена требованиями правил безопасности), которые снижают эндогенную пожароопасность пластов, склонных к самовозгоранию.

2. При проектировании вентиляции следует обеспечивать бремсберговую схему проветривания свежей струей воздуха с подачей его в нижнюю точку шахтного поля.

3. При размещении главной вентиляционной установки в открытых горных выработках ее следует максимально удалять от открытых горных работ, а место установки должно быть выбрано с учетом розы ветров и климатических условий района строительства.

4. Необходимо осуществлять мониторинг ширины целика между открытыми и подземными горными работами по условию аэродинамической проницаемости.

5. При проектировании вентиляции следует учесть возможность направления исходящей струи воздуха из шахты для проветривания выработанного пространства разреза и создания благоприятных аэрологических условий в рабочей зоне разреза.

Системы шахтного водоотлива при комбинированной технологии разработки угольных месторождений

Схемы шахтного водоотлива при разработке угольных месторождений представлены на рис. 7–9.

Шахтный водоотлив при разработке пологих и крутых пластов угольных месторождений [49, 51] заключается в организации подземных водосборников, размещенных на нижних горизонтах горных выработок. В эти водосборники самотеком поступают притоки подземных шахтных вод из сточных каналов подземных горных выработок через подземные комплексы предварительной очистки воды, которые служат для отделения крупных и взвешенных частиц. Насосные установки далее подают воду в водосборник, расположенный на нижнем горизонте разреза, где они смешиваются с шахтным притоком открытых горных выработок, и насосными установками, расположенными на бортах разреза или плавающем понтоне, вода далее подается в комплекс глубокой очистки на поверхности, откуда она после очистки и обеззараживания с использованием механических, физических и химических способов стекает в поверхностный водосборник и после отстоя сбрасывается во внешние водоемы.

Подземный комплекс предварительной очистки воды, имеющий обезвоживающий конвейер и набор устройств очистки воды, располагается перед подземным водосборником, который разбит на четыре секции водонепроницаемыми перемычками. Первая перемычка позволяет перепускать воду у дна комплекса, все последующие служат разделителями секций, где располагаются последовательно устройства очистки воды: тонкослойный осветлитель воды типа «жалюзи» для интенсификации осаждения взвешенных частиц; продольные тонкослойные осветлители воды для осаждения тонкодисперсных частиц; устройство электрофизической обработки. Подземный водосборник имеет футерованное скользящим в воде материалом (резиной, пластиком и др.) дно, уклон которого более 0,03 в сторону всасывающих коллекторов.

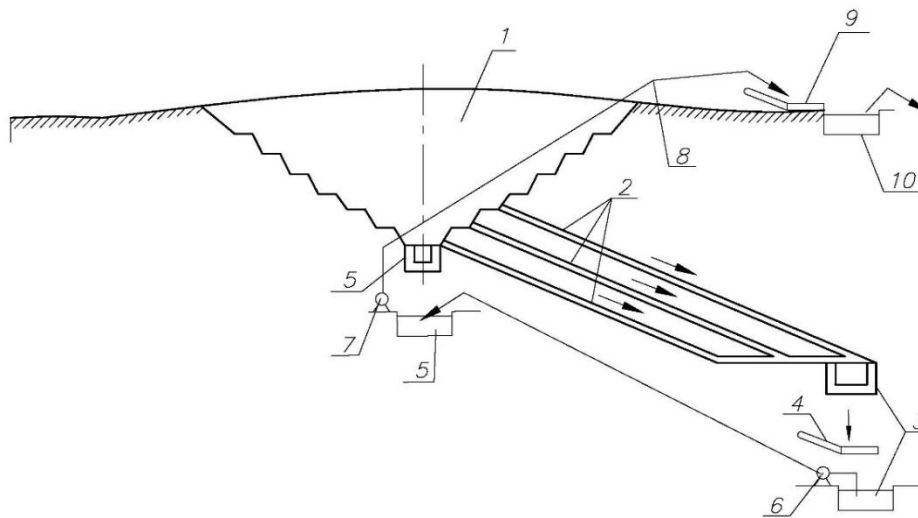


Рис. 7. Технологическая схема шахтного водоотлива при комбинированной разработке пологих и крутых пластов угольных месторождений:

1 – разрез (открытые работы); 2 – шахта (подземные работы); 3 – подземный водосборник; 4 – комплекс предварительной очистки воды; 5 – водосборник разреза; 6 – насосные установки шахты; 7 – насосные установки разреза; 8 – трубопровод; 9 – комплекс глубокой очистки воды; 10 – водосборник на поверхности

Fig. 7. Mine drainage flow sheet for the combined method for extraction of gently sloping and steeply dipping coal seams of deposits.

1 – opencast coal mine (open-casting); 2 – underground mine (underground mining); 3 – underground drain sump; 4 – preliminary water treatment facility; 5 – opencast coal mine drain sump; 6 – underground mine pumps; 7 – opencast coal mine pumps; 8 – pipeline; 9 – water fining facility; 10 – drain sump on the surface

Работа технологической схемы шахтного водоотлива при комбинированной разработке антиклинальных угольных месторождений заключается в следующем:

– подземные водосборники обоих крыльев антиклинального залегания угля размещаются на нижних горизонтах горных выработок;

– притоки подземных шахтных вод из сточных каналов подземных горных выработок поступают через комплексы предварительной очистки;

– насосными установками притоки подземных шахтных вод выдаются в водосборник, расположенный на нижнем горизонте разреза, где они смешиваются с шахтным притоком открытых горных выработок;

– насосными установками, расположенными на бортах разреза или плавающем понтоне, притоки выдаются в комплекс глубокой очистки воды на поверхности, откуда она после очистки и обеззараживания выдается в поверхностный водосборник и после отстоя сбрасывается во внешние водоемы.

Технологическая схема шахтного водоотлива при разработке синклиналичных угольных месторождений отличается тем, что в

подземный водосборник, размещенный на нижнем горизонте последнего обрабатываемого пласта в мульде синклиналичного месторождения, самотеком поступают притоки подземных шахтных вод из сточных каналов подземных горных выработок через комплекс предварительной очистки. С верхних горизонтов шахтные притоки перепускаются по скважине, пробуренной в мульде синклиналичного месторождения. Далее шахтные притоки насосными установками выдаются двумя потоками в водосборники, расположенные на нижних горизонтах разрезных траншей, вскрывающих выходы пластов, под наносы на противоположных сторонах месторождения, где они смешиваются с шахтными притоками открытых горных выработок и насосными установками, расположенными на бортах разрезных траншей или плавающих понтонах. После очистки и обеззараживания с использованием механических, физических и химических способов шахтные притоки стекают в поверхностные водосборники, а после отстоя сбрасываются во внешние водоемы [48–53].

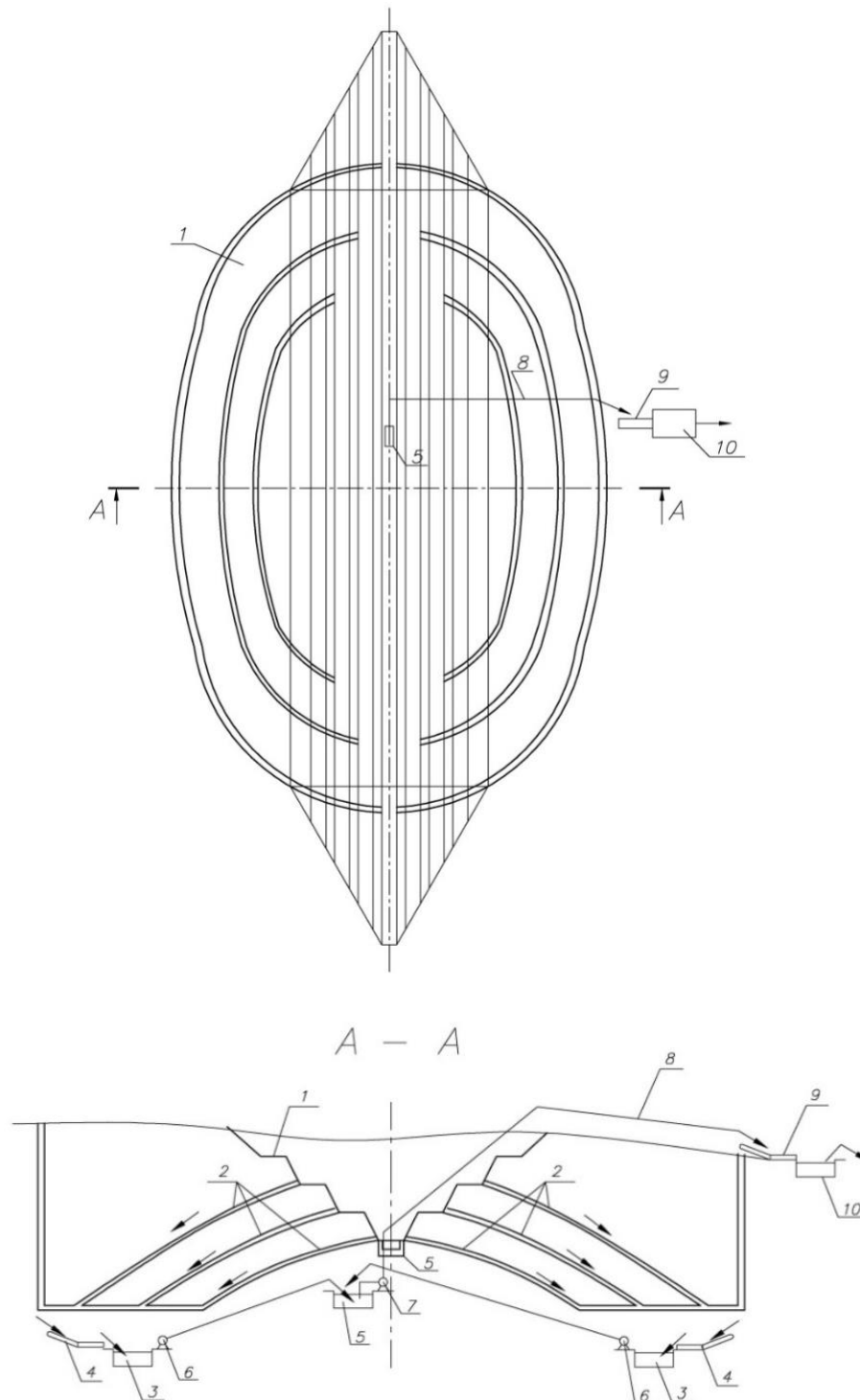


Рис. 8. Технологическая схема шахтного водоотлива при комбинированной разработке антиклинального угольного месторождения:

1 – разрез (открытые работы); 2 – шахта (подземные работы); 3 – подземный водосборник; 4 – комплекс предварительной очистки воды; 5 – водосборник разреза; 6 – насосные установки шахты; 7 – насосные установки разреза; 8 – трубопровод; 9 – комплекс глубокой очистки воды; 10 – водосборник на поверхности;

Fig. 8. Mine drainage flow sheet for the combined method for extraction of coal seams of anticlinal deposit:

1 – opencast coal mine (open-casting); 2 – underground mine (underground mining); 3 – underground drain sump; 4 – preliminary water treatment facility; 5 – opencast coal mine drain sump; 6 – underground mine pumps; 7 – opencast coal mine pumps; 8 – pipeline; 9 – water fining facility; 10 – drain sump on the surface

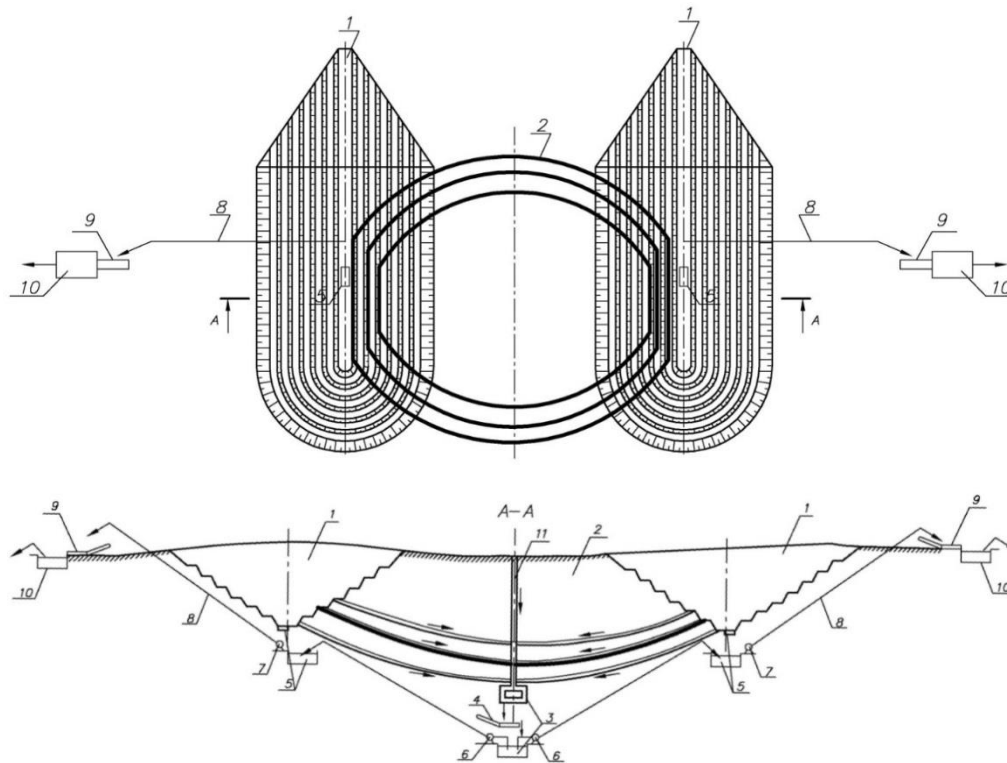


Рис. 9. Технологическая схема шахтного водоотлива при комбинированном способе разработки синклинального угольного месторождения:

1 – разрезная траншея на выходах пластов; 2 – шахта с подземными горными выработками; 3 – подземный водосборник; 4 – подземный комплекс предварительной очистки воды; 5 – водосборник разрезной траншеи; 6 – насосные установки шахты; 7 – насосные установки разреза; 8 – трубопровод; 9 – комплекс глубокой очистки воды; 10 – водосборник на поверхности; 11 – скважина

Fig. 9. Mine drainage flow sheet for the combined method for extraction of coal seams of synclinal deposit:

1 – working trench at seam outcrops; 2 – underground mine with underground workings; 3 – underground drain sump; 4 – preliminary water treatment facility; 5 – working trench drain sump; 6 – underground mine pumps; 7 – opencast coal mine pumps; 8 – pipeline; 9 – water fining facility; 10 – drain sump on the surface; 11 – borehole

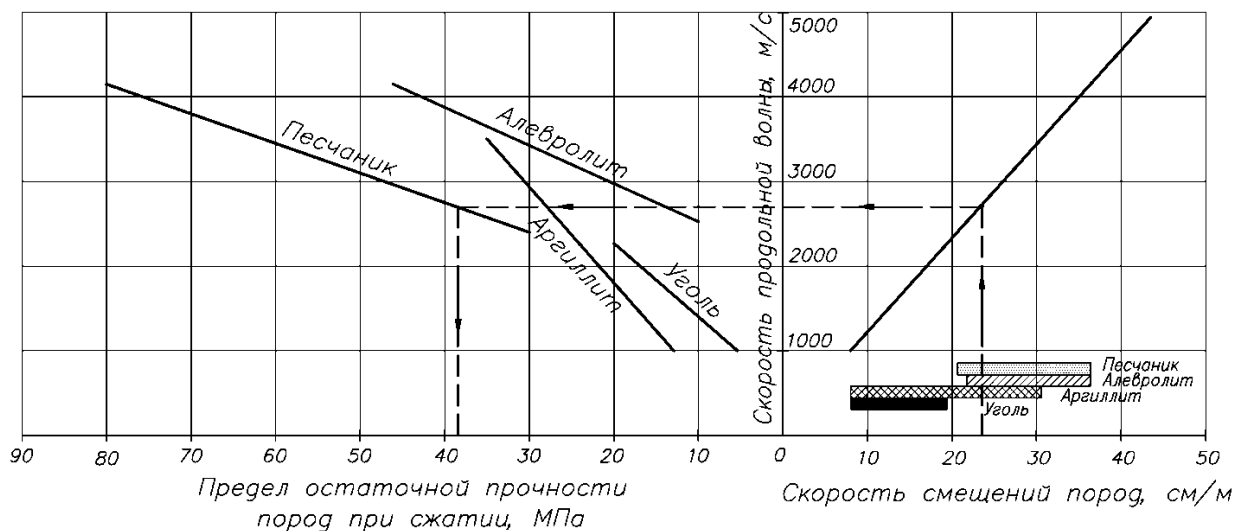


Рис. 10. Номограмма для определения предела остаточной прочности пород при сжатии от скорости сейсмических смещений пород

Fig. 10. Nomogram for determining the limit of residual rock strength under compression from the speed of rock seismic displacements

Управление массивом горных пород

Исследования проявлений горного давления при комбинированной разработке угольных месторождений позволили разработать методику прогноза опасных зон в горном массиве в приконтурной зоне разреза, которая основана на определении скорости смещений пород под влиянием взрывных работ. Область применения методики: угольные месторождения, разрабатываемые комбинированным способом.

Исходными данными для прогноза опасных зон служат параметры, взятые из следующих документов: стратиграфический разрез горного массива с указанием мощности и предела прочности угольных и породных слоев; паспорта буровзрывных работ; планы горных работ.

Величины скоростей смещений по исходным данным определяются по номограмме, представленной на рис. 10.

Значение скорости продольной волны по номограмме определяет предел остаточной прочности пород при сжатии после буровзрывных работ, на основании которого в установленном порядке разрабатываются и утверждаются мероприятия для безопасности ведения горных работ, реализация которых обеспечивает безопасную и эффективную отработку пласта и проведение подготовительных горных выработок. Удаление открытых работ от подземных, как показала практика, составляет 90–120 м в зависимости от крепости пород горного массива.

Наиболее важной на стадии проектирования является задача оптимизации глубины открытых работ, от которой зависят распределение запасов по видам открытых и подземных работ на протяжении отработки угольного месторождения, затраты на рекультивацию земель и многие другие технико-экономические показатели. Критерием оптимизации служит чистый дисконтированный доход за время разработки месторождения.

Транспорт и доставка материалов при комбинированной разработке угольных месторождений

Транспорт и доставка материалов при комбинированной разработке угольных месторождений практически для подземных и открытых работ не изменяется, отличительной особенностью является бункеризация горной массы открытых и подземных горных работ при раздельной транспортировке горной массы.

Примеры обоснования комбинированной технологии разработки угольных месторождений

Пример обоснования выбора комбинированной технологии разработки угольного месторождения производился на основе геологических данных и характеристик Макарьевского месторождения Кузбасса.

На рис. 11–13 представлены результаты расчетов выбранных технологических схем горнодобывающего предприятия.

Для совместной отработки участков Макарьевский Северный и Макарьевский Южный предлагается рассмотреть три варианта: вариант 1 – отработка запасов участка подземным способом; вариант 2 – последовательная отработка запасов участка открытым способом, а затем подземным; вариант 3 – одновременная открыто-подземная отработка запасов участка.

Вариант 1 реализуется строительством двух шахт с суммарной производственной мощностью 3,5 млн т угля в год.

На основании принятых технико-технологических решений проведен технико-экономический расчет по варианту 1 отработки выделенных участков Макарьевского каменноугольного месторождения.

Денежный поток за весь период отработки составляет 78,5 млрд руб., чистый дисконтированный доход составляет 4,5 млрд руб.

Вариант 2 реализуется строительством разреза с производственной мощностью 7 млн т угля в год до достижения конечной глубины открытых горных работ и с последующей подземной доработкой запасов выделенных участков.

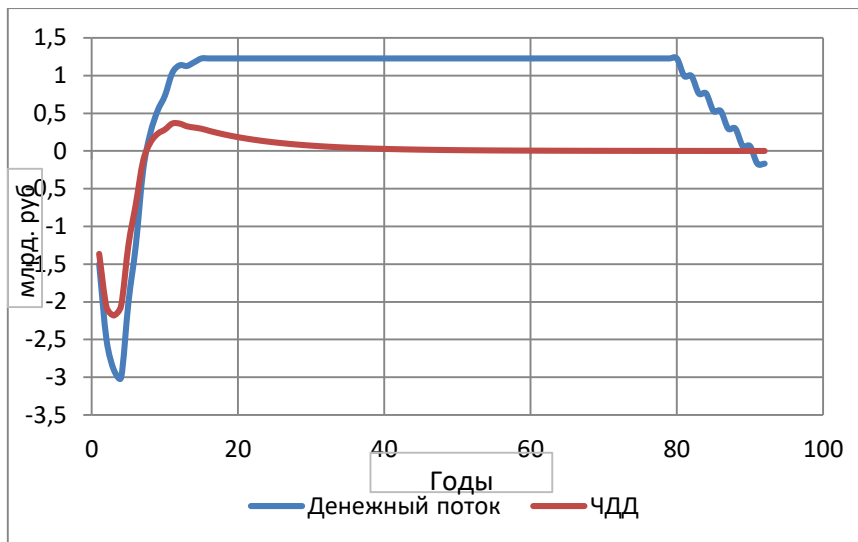


Рис. 11. Денежные потоки и чистый дисконтированный доход (ЧДД) при подземной разработке угольного месторождения с традиционной рекультивацией земель

Fig. 11. Cash flows and net present value (NPV) for underground mining of coal deposit with traditional land reclamation

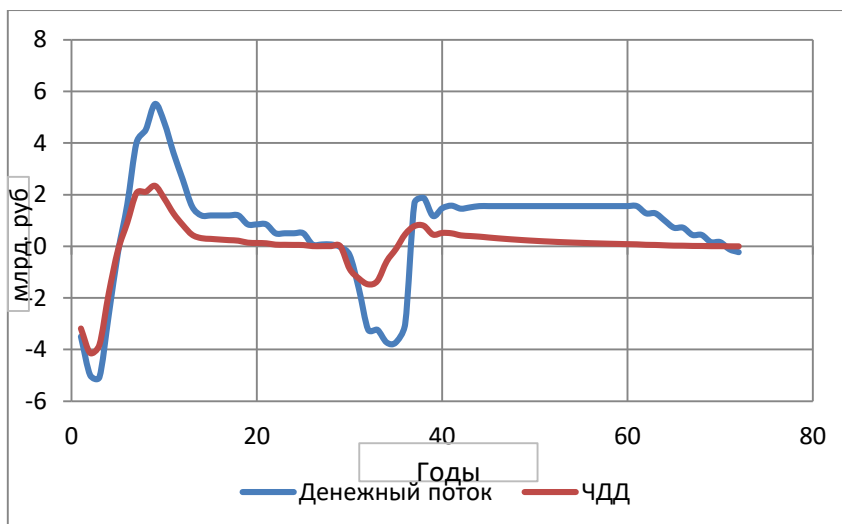


Рис. 12. Денежные потоки и чистый дисконтированный доход (ЧДД) при последовательной открытой и подземной разработке месторождения на полную глубину с традиционной рекультивацией земель

Fig. 12. Cash flows and net present value (NPV) for consecutive opencast and underground mining of a coal deposit to its full depth with traditional land reclamation

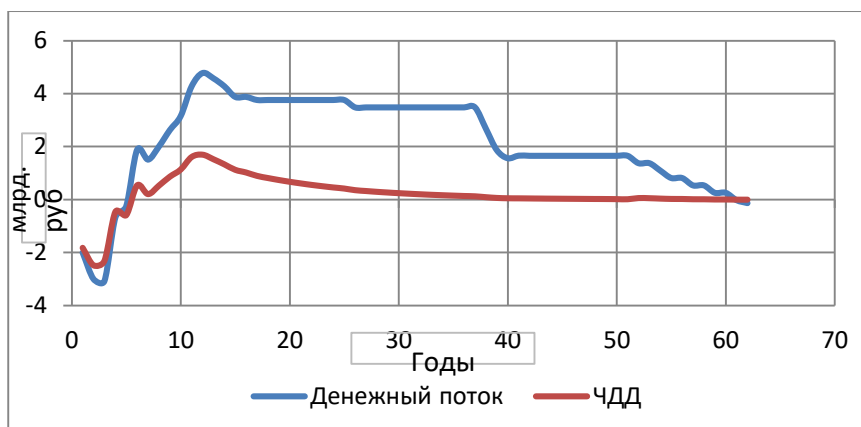


Рис. 13. Денежные потоки и чистый дисконтированный доход (ЧДД) при комбинированной разработке месторождения на полную глубину с новыми вариантами рекультивации земель

Fig. 13. Cash flows and net present value (NPV) for combined mining of a coal deposit to its full depth with new land reclamation options

На основании принятых технико-технологических решений проведен технико-экономический расчет по варианту 2 отработки выделенных участков Макарьевского месторождения.

Особенностью данного варианта является учет в экономической эффективности проекта затрат на рекультивацию нарушенных земель.

Денежный поток за весь период отработки составляет 47,9 млрд руб., чистый дисконтированный доход составляет 2,8 млрд руб.

Сравнение первого и второго вариантов с учетом рационального природопользования указывает на низкую эффективность открытого способа угледобычи.

На первый взгляд, второй вариант более предпочтительный по срокам освоения месторождения и объему добычи – 7 млн т в год, однако прибыль предприятия уходит на рекультивацию земель, площадь которой многократно больше из-за рабочей глубины разреза более 100 м. Возврат породы автотранспортом в выработанное пространство составляет 90–130 руб./т, а в перерасчете на коэффициент вскрыши будет составлять 1–2 млрд руб, поэтому лучше объявить себя банкротом и не проводить рекультивацию или провести рекультивацию отвалов.

Вариант 3 реализуется строительством разреза с производственной мощностью 4,5 млн т угля в год и одновременной подземной отработкой запасов выделенных участков. Данный вариант позволяет совместить преимущества открытого и подземного способов угледобычи на разных этапах отработки месторождения. В варианте учитываются затраты на рекультивацию, при этом выбирается оптимальная глубина разреза по критерию экологической безопасности отработки и с учетом затрат на рациональное природопользование.

На основании принятых технико-технологических решений проведен технико-экономический расчет по варианту 3 отработки выделенных участков Макарьевского месторождения Кузбасса.

Денежный поток за весь период отработки составляет 143,4 млрд руб., чистый дисконтированный доход составляет 20,1 млрд руб.

Сокращение срока эксплуатации месторождения при себестоимости тонны угля 2000 руб. дает условный экономический эффект 94, 6 млрд руб. Снижение потерь на 30 % дает приращение условного эффекта на 28,37 млрд руб. с учетом предотвращенного экологического ущерба.

Выводы

При комплексном проектировании и освоении запасов комбинированными технологиями проектные решения должны быть увязаны по способам, системам разработки и выемки угля, в том числе:

- размещение вскрывающих выработок с учетом перспектив развития горных работ, разреза и шахты с точки зрения их функционирования на всех этапах разработки месторождения;

- обоснование параметров технологических схем совместного водоотлива, транспорта и вентиляции;

- обоснование глубины разреза, что обеспечивает снижение затрат на рекультивацию земель, сокращение срока эксплуатации предприятия;

- гармонизация безопасного расстояния между открытыми и подземными горными работами, что позволяет совместить во времени открытые, подземные и рекультивационные работы, разделив их в пространстве.

Анализ вариантов разработки Макарьевского угольного месторождения позволяет сделать следующие выводы.

Совместное решение вопросов вскрытия и подготовки запасов полей разреза и шахты позволяет нарастить объем добычи на горнодобывающем предприятии до 5–9 млн т в год, уменьшить объем вскрывающих выработок и сократить срок строительства, снизить размеры инвестиций, а также уменьшить затраты на вентиляцию, водоотлив, транспортировку горной массы и рекультивацию земель в процессе эксплуатации предприятия.

Библиографический список

1. Kelly M. Developing coal mining technology for the 21st century. *Mining Science and Technology*'99. 2002;3–7.
2. Плакиткина Л. С., Плакиткин Ю. А. Мировые тенденции развития угольной отрасли. *Горная промышленность*. 2017;(1(143)):24–29. DOI: 10.30686/1609-9192-2019-1-143-24-29.
3. Плакиткина Л. С., Плакиткин Ю. А. *Угольная промышленность мира и России: анализ, тенденции и перспективы развития*. М.: ЛИТЕРРА; 2017. 373 с.
4. Joe G. Baker Technological Change in US Coal Mining: Issues and Evidence. *Energy Exploration & Exploitation*. 1983;2(3):233–241.
5. Winschel Richard US Coal – An Industry in Transition. In: *International Pittsburg Coal Conference*. 2015.
6. IEA. *Coal*. [Online]. 2016. URL: <http://www.iea.org/topics/coal>.
7. Osborne D. (ed.) *The Coal Handbook: Towards Cleaner Production*. Vol. 1 in Woodhead Publishing Series in Energy. Woodhead Publishing; 2013. DOI: 10.1533/9780857097309.
8. McDowell Chatman Jay. *County Coal and Rail*. Arcadia Publishing; 2014.
9. Bondarenko V., Kovalevs'ka I., Ganushevych K. (eds.) *Progressive Technologies of Coal, Coalbed Methane and Ores Mining*. London: CRC Press; 2014. DOI: 10.1201/b17547.
10. Mukhopadhyay Manas K., Suvomoy A., Banerjee Palash, Skaria Vishal, Bhattacharjee P.K. *Advances in Coal Mining Technology to Meet the Requirements of Environmental and Social Needs*. URL: http://www.meconlimited.co.in/Writereaddata/pub/Adv_coal_mining_env_social_needs%20.pdf.
11. *Coal of the future (supply prospects for thermal coal by 2030–2050)*. Prepared for the European Commission – DG JRC Institute for Energy by Energy Edge Limited. 2007. URL: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC36060/6060%20-%20EUR%2022644%20EN.pdf>.
12. Yuan L. Scientific conception of precision coal mining. *Meitan Xuebao. Journal of the China Coal Society*. 2017;42(1):1–7. DOI: 10.13225/j.cnki.jccs.2016.1661.
13. Lien L. Advances in coal mining technology. In: *The Coal Handbook: Towards Cleaner Production*. Osborne D. (ed.) Vol. 1 in Woodhead Publishing Series in Energy. Woodhead Publishing; 2013. P. 193–225. DOI: 10.1533/9780857097309.2.193.
14. Lien L. Mining's new future: How the industry will change in the next decade. *Mining Engineering*. 2011;63(2):40–46.
15. Fedorin V. A., Shakhmatov V., Anferov B. A., Kuznetsova L. V. Hybrid opencast/underground process to mine Kuzbass coal deposits. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Vol. 262. *Challenges for Development in Mining Science and Mining Industry 1–5 October 2018, Novosibirsk, Russian Federation*. IOP Publishing Ltd; 2019. DOI: 10.1088/1755-1315/262/1/012015.
16. Федорин В. А., Шахматов В. Я, Михайлов А. Ю. Комбинированный способ разработки угольных пластов кузбасса на основе синтеза процессов ведения открытых и подземных горных работ. *Вестник научного центра ВОСТНИИ по промышленной и экологической безопасности*. 2018;(1):32–40.
17. Wang G.-F. Development of China's coal mining technology and equipment. In: *30th Annual International Pittsburgh Coal Conference*. 2013;(3):1855–1884.
18. Yuan L. Strategic thinking of simultaneous exploitation of coal and gas in deep mining. *Meitan Xuebao. Journal of the China Coal Society*. 2016;41(1):1–6. DOI: 10.13225/j.cnki.jccs.2015.9027.
19. Yuan L. The technique of coal mining and gas extraction by roadway retaining and borehole drilling. *Meitan Xuebao. Journal of the China Coal Society*. 2008;33(8):898–902.
20. Yuan L. Scientific problem and countermeasure for precision mining of coal and associated resources. *Meitan Xuebao. Journal of the China Coal Society*. 2019;44(1):1–9. DOI: 10.13225/j.cnki.jccs.2018.5048
21. Yuan L., Zhang P. Development status and prospect of geological guarantee technology for precise coal mining. *Meitan Xuebao. Journal of the China Coal Society*. 2019;44(8):2277–2284. DOI: 10.13225/j.cnki.jccs.KJ19.0571.
22. Zhang J., Zhang Q., Ju F., Zhou N., Li M., Sun Q. Theory and technique of greening mining integrating mining, separating and backfilling in deep coal resources. *Meitan Xuebao. Journal of the China Coal Society*. 2018;43(2):377–389. DOI: 10.13225/j.cnki.jccs.2017.4102.
23. Diering D. H. Ultra-deep level mining – future requirements. *Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy*. 1997;97(6):249–255.
24. Li H., Guo G., Zhai S.C. Mining scheme design for super-high water backfill strip mining under buildings: a Chinese case study. *Environmental Earth Sciences*. 2016;75(12):1017. DOI: 10.1007/s12665-016-5837-5.
25. Zhang S.-H., Cai Q.-X., Chen K.-Y. Dynamic mining and excavating succession for the combined mining of coal seam group in coal and gas outburst mine. *Zhongguo Kuangye Daxue Xuebao. Journal of China University of Mining and Technology*. 2011;40(6):912–916.

26. Luo Xiao, Zhang Wenjun. Research on combined coal mining technology under highway. *View Affiliations AIP Conference Proceedings*. 2017;1839(1):020027. DOI: 10.1063/1.4982392.
27. Xie H.-P., Zhou H.-W., Xue D.-J., Wang H.-W., Zhang R., Gao F. Research and consideration on deep coal mining and critical mining depth. *Meitan Xuebao. Journal of the China Coal Society*. 2012;37(4):535–542.
28. He M.-C. Conception system and evaluation indexes for deep engineering. *Yanshilixue Yu Gongcheng Xuebao. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*. 2005;24(16):2854–2858.
29. Skousen J., Zipper C.E. Post-mining policies and practices in the Eastern USA coal region. *International Journal of Coal Science and Technology*. 2014;1(2):135–151. DOI: 10.1007/s40789-014-0021-6.
30. Sun J., Wang S. Rock mechanics and rock engineering in China: Developments and current state-of-the-art. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2000.;37(3):447–465. DOI: 10.1016/S1365-1609(99)00072-6.
31. Dychkovskiy R., Vladyko O., Maltsev D., Cáceres Cabana E. Some aspects of the compatibility of mineral mining technologies. *Rudarsko Geolosko Naftni Zbornik*. 2018;33(4):73–82. DOI: 10.17794/rgn.2018.4.7.
32. Petlovanyi M. V., Lozynskiy V. H., Saik P. B., Sai K. S. Modern experience of low-coal seams underground mining in Ukraine. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2018;28(6):917–923. DOI: 10.1016/j.ijmst.2018.05.014.
33. Ордин А. А., Клишин В. И. Оптимизация технологических параметров горнодобывающих предприятий на основе лаговых моделей. Новосибирск: Наука; 2009. 164 с.
34. Ермаков А. Ю., Сенкус Вал. В., Кочурин Н. М., Сенкус В. В. *Комбинированная разработка угольных месторождений с рекультивацией нарушенных земель*. Кемерово: «Кузбассвуиздат»; 2017. 267 с.
35. Качурин Н. М., Ермаков А. Ю., Сенкус Вал. В. *Аэрогазодинамика очистных и подготовительных участков при отработке мощных пологих пластов*. Кемерово: АИ «Кузбассвуиздат»; 2017. 288 с.
36. Каплунов Д. Р., Качурин Н. М., Сенкус В. В., Ермаков А. Ю., Сенкус Вал. В. Комбинированная технология системной разработки угольных месторождений. Кемерово: АИ «Кузбассвуиздат»; 2018. 454 с.
37. Абрамкин Н. И., Фам Дик Тханг Обоснование рациональных вариантов комплексно-механизированной отработки наклонных угольных пластов средней мощности в горно-геологических условиях на шахте «Куангхань». *Горные науки и технологии*. 2016;(3):55–60. DOI: 10.17073/2500-0632-2016-3-55-60.
38. Патент РФ № 2295036 *Комплексный способ разработки пластовых месторождений*; МПК E21/C 40/00 (2006.01). Патентообл. и авт.: Сенкус Вал. В., Фомичев С. Г., Сенкус Вас. В. и др.; Заявл. 23.05.2005. Оpubл. 10.03.2007. Бюл. № 7.
39. Патент РФ № 2297533 *Способ рекультивации открытых горных выработок*. Заявит. и авт.: Сенкус Вал. В., Сенкус В. В., Фомичев С. Г., Сенкус Вас. В.; Заявл. 26.08.2005. Оpubл. 20.04.2007. Бюл. № 11.
40. Патент РФ № 2388911 *Комплексный способ разработки пластов опасных по газу и пыли, склонных к горным ударам и внезапным выбросам*; МПК E21F 7/00. Патентообл. и авт.: Сенкус Вал. В., Фрянов В. Н., Фомичев С. Г. и др.; Заявл. 05.08.2008. Оpubл. 10.05.2010. Бюл. № 13.
41. Патент РФ № 2391510 *Способ разработки мощных угольных пластов и устройство для его реализации*. Патентообл. и авт.: Сенкус Вал. В., Фрянов В. Н., Стефанюк Б. М. и др.; Заявл. 02.12.2008. Оpubл. 10.06.2010. Бюл. № 16.
42. Патент РФ № 2418168. *Комплексный способ разработки свит пологих пластов*; МПК E21C 40/06. Заявит. и авт.: Сенкус Вал. В., Стефанюк Б. М., Фрянов В. Н. и др.; Заявл. 17.11.2009. Оpubл. 10.05.2011. Бюл. № 13.
43. Патент РФ № 2422638 *Комплексный способ разработки свит пологих пластов синклиналичных и брахисинклиналичных месторождений*; МПК E21/C 41/00 (2006.01). Патентообл. и авт.: Сенкус Вал. В., Стефанюк Б. М., Сенкус В. В., Сенкус Вас. В. и др.; Заявл. 28.12.2009. Оpubл. 27.06.2011. Бюл. № 18.
44. Патент РФ № 2425216 *Комплексный способ разработки свит пластов антиклиналичных месторождений с пологим и (или) крутым залеганием пластов*; МПК E21/C 41/00 (2006.01). Патентообл. и авт.: Сенкус Вал. В., Стефанюк Б. М., Сенкус В. В., Сенкус Вас. В. и др.; Заявл. 28.12.2009. Оpubл. 27.07.2011. Бюл. № 21.
45. Патент РФ № 2425216 *Комплексный способ разработки свит пластов антиклиналичных месторождений с пологим и (или) крутым залеганием пластов*; МПК E21/C 41/00 (2006.01). Патентообл. и авт.: Сенкус Вал. В., Стефанюк Б. М., Сенкус В. В., Сенкус Вас. В. и др.; Заявл. 28.12.2009. Оpubл. 27.07.2011. Бюл. № 21.
46. Патент РФ № 2477793 *Способ комбинированной разработки свиты пластов месторождений*; МПК E21/C 41/02 (2006.01). Патентообл. и авт.: Сенкус Вал. В., Мельник В. В., Сенкус В. В. и др.; Заявл. 20.09.2011. Оpubл. 20.03.2013. Бюл. № 8.
47. Патент РФ № 2563003 *Способ разработки мощных пологих угольных пластов*; МПК E21C 41/32. Патентообл.: ФГБОУ ВПО «КемГУ». Авт.: Сенкус Вал. В., Ермаков А. Ю., Стефанюк Б. М. и др.; Заявл. 06.08.2014. Оpubл. 10.09.2015. Бюл. № 25.

48. Патент РФ № 2569145 *Комплекс механогидравлической рекультивации нарушенных земель*; МПК E21C 41/32. Патентообл.: ФГБОУ ВПО «КемГУ». Авт.: Сенкус Вал. В., Мельник В. В., Стефанюк Б. М. и др.; Заявл. 06.08.2014. Оpubл. 20.11.2015. Бюл. № 32.

49. Патент РФ № 2569146 *Способ механогидравлической рекультивации нарушенных земель*; МПК E21C 41/18. Патентообл.: ФГБОУ ВПО «КемГУ». Авт.: Сенкус Вал. В., Сенкус Вас. В., Стефанюк Б. М. и др.; Заявл. 06.08.2014. Оpubл. 20.11.2015. Бюл. № 32.

50. Патент РФ № 2569145 *Комплекс механогидравлической рекультивации нарушенных земель*; МПК E21C 41/32. Патентообл.: ФГБОУ ВПО «КемГУ». Авт.: Сенкус Вал. В., Мельник В. В., Стефанюк Б. М. и др.; Заявл. 06.08.2014. Оpubл. 20.11.2015. Бюл. № 32.

51. Патент РФ № 2622972 *Шахтный водоотлив при разработке антиклинальных угольных месторождений комбинированным способом*; МПК E02D 19/00 (2006.01). Патентообл.: ООО «Сибниинуглеобогащение». Авт.: Ермаков А. Ю., Сенкус В. В., Сенкус Вал. В. и др.; Заявл. 09.02.2016. Оpubл. 21.06.2017. Бюл. № 18.

52. Патент РФ № 2627504 *Шахтный водоотлив при разработке пологих и крутых пластов угольных месторождений комбинированным способом*; МПК E02D 19/06 (2006.01). Патентообл.: ООО «Сибниинуглеобогащение». Авт.: Ермаков А. Ю., Сенкус Вал. В. и др.; Заявл. 09.02.2016. Оpubл. 08.08.2017. Бюл. № 22.

53. Патент РФ № 2655548 *Способ рекультивации открытых горных выработок*; МПК E21C 41/32, A01B 79/02. Патентообл.: Ермаков А. Ю., Сенкус В. В. Авт.: Ермаков А. Ю., Сенкус В. В., Сенкус Вас. В., Сенкус Вал. В. и др.; Заявл. 26.06.2017. Оpubл. 28.05.2018. Бюл. № 16.

54. Патент РФ № 2679003 *Способ проветривания подземных горных выработок при комбинированной разработке синклиналиных угольных месторождений*; МПК E21F 1/00. Патентообл.: Ермаков А. Ю., Сенкус В. В. Авт.: Ермаков А. Ю., Сенкус В. В., Сенкус Вал. В. и др.; Заявл. 17.10.2017. Оpubл. 05.02.2019. Бюл. № 4.

55. Патент РФ № 2679015 *Способ проветривания подземных горных выработок при комбинированной разработке антиклинальных угольных месторождений*; МПК E21F 1/08 (2006.01). Патентообл.: Ермаков А. Ю., Сенкус В. В. Авт.: Ермаков А. Ю., Сенкус В. В., Сенкус Вал. В. и др.; Заявл. 17.10.2017. Оpubл. 05.02.2019. Бюл. № 4.

56. Патент РФ № 2016104259 *Шахтный водоотлив при разработке синклиналиных угольных месторождений комбинированным способом*; МПК E 02 D19/00. Заявит.: ООО «Сибниинуглеобогащение». Авт.: Сенкус Вал. В., Ермаков А. Ю., Сенкус Вас. В. и др.; Заявл. 09.02.2016. Оpubл. 21.06.2017. Бюл. № 18.

57. Патент РФ № 2016104262 *Шахтный водоотлив при разработке пологих и крутых пластов угольных месторождений комбинированным способом*; МПК E 02 D19/00. Заявит.: ООО «Сибниинуглеобогащение». Авт.: Сенкус Вал. В., Ермаков А.Ю., Сенкус Вас.В. и др.; Заявл. 09.02.2016. Оpubл. 21.06.2017. Бюл. № 18.

References

1. Kelly M. Developing coal mining technology for the 21st century. *Mining Science and Technology*'99. 2002;3–7.
2. Plakitkina L. S., Plakitkin Yu. A. Global trends in coal industry development. *Mining Industry*. 2017;(1(143)):24–29. DOI: 10.30686/1609-9192-2019-1-143-24-29. (In Russ.).
3. Plakitkina LS, Plakitkin Yu.A. World and Russian Coal Industry: Review, Trends and Development Prospects. Moscow: LITERRA PUBL.; 2017. 373 p. (In Russ.).
4. Joe G. Baker Technological Change in US Coal Mining: Issues and Evidence. *Energy Exploration&Exploitation*. 1983;2(3):233–241.
5. Winschel Richard US Coal – An Industry in Transition. In: *International Pittsburg Coal Conference*. 2015.
6. IEA. *Coal*. [Online]. 2016. URL: <http://www.iea.org/topics/coal>.
7. Osborne D. (ed.) *The Coal Handbook: Towards Cleaner Production*. Vol. 1 in Woodhead Publishing Series in Energy. Woodhead Publishing; 2013. DOI: 10.1533/9780857097309.
8. McDowell Chatman Jay. *County Coal and Rail*. Arcadia Publishing; 2014.
9. Bondarenko V., Kovalevs'ka I., Ganushevych K. (eds.) *Progressive Technologies of Coal, Coalbed Methane and Ores Mining*. London: CRC Press; 2014. DOI: 10.1201/b17547.
10. Mukhopadhyay Manas K., Suvomoy A., Banerjee Palash, Skaria Vishal, Bhattacharjee P.K. *Advances in Coal Mining Technology to Meet the Requirements of Environmental and Social Needs*. URL: http://www.mecon-limited.co.in/Writereaddata/pub/Adv_coal_mining_env_social_needs%20.pdf.



11. *Coal of the future (supply prospects for thermal coal by 2030–2050)*. Prepared for the European Commission – DG JRC Institute for Energy by Energy Edge Limited. 2007. URL: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC36060/6060%20-%20EUR%2022644%20EN.pdf>.
12. Yuan L. Scientific conception of precision coal mining. *Meitan Xuebao. Journal of the China Coal Society*. 2017;42(1):1–7. DOI: 10.13225/j.cnki.jccs.2016.1661.
13. Lien L. Advances in coal mining technology. In: *The Coal Handbook: Towards Cleaner Production*. Osborne D. (ed.) Vol. 1 in Woodhead Publishing Series in Energy. Woodhead Publishing; 2013. P. 193–225. DOI: 10.1533/9780857097309.2.193.
14. Lien L. Mining's new future: How the industry will change in the next decade. *Mining Engineering*. 2011;63(2):40–46.
15. Fedorin V. A., Shakhmatov V., Anferov B. A., Kuznetsova L. V. Hybrid opencast/underground process to mine Kuzbass coal deposits. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Vol. 262. *Challenges for Development in Mining Science and Mining Industry 1–5 October 2018, Novosibirsk, Russian Federation*. IOP Publishing Ltd; 2019. DOI: 10.1088/1755-1315/262/1/012015.
16. Fedorin V. A., Shakhmatov V. Ya., Mikhaylov A. Yu. Combined method of development of coal seams of Kuzbass using opencast and underground mining systems. *Vestn. Nauch. Tsentra VostNII Po Prom. Ekol. Bezop.* 2018;(1):32–40. (In Russ.).
17. Wang G.-F. Development of China's coal mining technology and equipment. In: *30th Annual International Pittsburgh Coal Conference*. 2013;(3):1855–1884.
18. Yuan L. Strategic thinking of simultaneous exploitation of coal and gas in deep mining. *Meitan Xuebao. Journal of the China Coal Society*. 2016;41(1):1–6. DOI: 10.13225/j.cnki.jccs.2015.9027.
19. Yuan L. The technique of coal mining and gas extraction by roadway retaining and borehole drilling. *Meitan Xuebao. Journal of the China Coal Society*. 2008;33(8):898–902.
20. Yuan L. Scientific problem and countermeasure for precision mining of coal and associated resources. *Meitan Xuebao. Journal of the China Coal Society*. 2019;44(1):1–9. DOI: 10.13225/j.cnki.jccs.2018.5048
21. Yuan L., Zhang P. Development status and prospect of geological guarantee technology for precise coal mining. *Meitan Xuebao. Journal of the China Coal Society*. 2019;44(8):2277–2284. DOI: 10.13225/j.cnki.jccs.KJ19.0571.
22. Zhang J., Zhang Q., Ju F., Zhou N., Li M., Sun Q. Theory and technique of greening mining integrating mining, separating and backfilling in deep coal resources. *Meitan Xuebao. Journal of the China Coal Society*. 2018;43(2):377–389. DOI: 10.13225/j.cnki.jccs.2017.4102.
23. Diering D. H. Ultra-deep level mining – future requirements. *Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy*. 1997;97(6):249–255.
24. Li H., Guo G., Zhai S.C. Mining scheme design for super-high water backfill strip mining under buildings: a Chinese case study. *Environmental Earth Sciences*. 2016;75(12):1017. DOI: 10.1007/s12665-016-5837-5.
25. Zhang S.-H., Cai Q.-X., Chen K.-Y. Dynamic mining and excavating succession for the combined mining of coal seam group in coal and gas outburst mine. *Zhongguo Kuangye Daxue Xuebao. Journal of China University of Mining and Technology*. 2011;40(6):912–916.
26. Luo Xiao, Zhang Wenjun. Research on combined coal mining technology under highway. *View Affiliations AIP Conference Proceedings*. 2017;1839(1):020027. DOI: 10.1063/1.4982392.
27. Xie H.-P., Zhou H.-W., Xue D.-J., Wang H.-W., Zhang R., Gao F. Research and consideration on deep coal mining and critical mining depth. *Meitan Xuebao. Journal of the China Coal Society*. 2012;37(4):535–542.
28. He M.-C. Conception system and evaluation indexes for deep engineering. *Yanshilixue Yu Gongcheng Xuebao. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*. 2005;24(16):2854–2858.
29. Skousen J., Zipper C.E. Post-mining policies and practices in the Eastern USA coal region. *International Journal of Coal Science and Technology*. 2014;1(2):135–151. DOI: 10.1007/s40789-014-0021-6.
30. Sun J., Wang S. Rock mechanics and rock engineering in China: Developments and current state-of-the-art. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2000.;37(3):447–465. DOI: 10.1016/S1365-1609(99)00072-6.
31. Dychkovskiy R., Vladyko O., Maltsev D., Cáceres Cabana E. Some aspects of the compatibility of mineral mining technologies. *Rudarsko Geolosko Naftni Zbornik*. 2018;33(4):73–82. DOI: 10.17794/rgn.2018.4.7.
32. Petlovanyi M. V., Lozynskiy V. H., Saik P. B., Sai K. S. Modern experience of low-coal seams underground mining in Ukraine. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2018;28(6):917–923. DOI: 10.1016/j.ijmst.2018.05.014.
33. Ordin A. A., Klishin V. I. *Optimization of Technological Parameters of Mines Based on Lagged Models*. Novosibirsk: Nauka; 2009. 164 p. (In Russ.).

34. Ermakov A. Yu., Sencus Val. V., Kochurin N. M., Sencus V. V. *Combined development of coal deposits with recultivation of disturbed*. Kemerovo: Kuzbassvuzizdat Publ.; 2017. 267 p.
35. Kachurin N. M., Ermakov A. Yu., Sencus Val. V. *Gas dynamics of stopes and developing sections when extracting thick flat seams*. Kemerovo: JSC "Kuzbassvuzizdat Publ."; 2017. 288 p. (In Russ.).
36. Kaplunov D. R., Kachurin N. M., Senkus V. V., Ermakov A. Yu., Sencus Val. V. *Combined technology of coal deposit systematic development*. Kemerovo: JSC "Kuzbassvuzizdat Publ."; 2018. 454 p. (In Russ.).
37. Abramkin N. I., Fam Dick Thang. Substantiation of sustainable options for complex mechanized mining of inclined medium-thick coal seams in mining and geological conditions of the Kuang Han mine. *Gornye nauki I tehnologii = Mining Sciences and Technologies (Russia)*. 2016;(3):55–60. DOI: 10.17073/2500-0632-2016-3-55-60. (In Russ.).
38. Senkus Val. V., Fomichev S. G., Senkus Vas. V. et. al. *An integrated method for mining of flat coal deposits*; RF patent No. 2295036, IPC E21/C 40/00 (2006.01); Submitted 05/23/2005, Publ. 03/10/2007, Bulletin No. 7. (In Russ.).
39. Senkus Val. V., Senkus V. V., Fomichev S. G., Senkus Vas. V. *Method of reclamation of open pit mines*; RF patent No. 2297533, Submitted 08/26/2005, Publ. 04/20/2007, Bulletin No. 11. (In Russ.).
40. Senkus Val. V., Fryanov V. N., Fomichev S. G. et. al. *Combined method for extraction of coal seams prone to sudden coal-and-gas outburst*; IPC E21F 7/00. RF patent No. 2388911; Submitted 08/05/2008, Publ. 05/10/2010, Bulletin No. 13. (In Russ.).
41. Senkus Val. V., Fryanov V. N., Stefanyuk B. M. et. al. *Method for extraction of thick coal seams and facility for its implementation*. RF patent No. 2391510, Submitted 12/02/2008, Publ. 06/10/2010, Bulletin No. 16. (In Russ.).
42. Senkus Val. V., Stefanyuk B. M., Fryanov V. N. et. al. *Combined method for extraction of flat coal measures*; IPC E21C 40/06. RF patent No. 2418168, Submitted 11.17.2009, Publ. 05/10/2011, Bulletin No. 13.
43. Senkus Val. V., Stefanyuk B. M., Fryanov V. N. et. al. *Combined method for extraction of flat coal measures of synclinal and brachysynclinal deposits*; IPC E21/C 40/06 (2006.01). RF patent No. 2422638, Submitted 12/28/2009, Publ. 06/27/2011, Bulletin No. 18. (In Russ.).
44. Senkus Val. V., Stefanyuk B. M., Senkus V. V., Senkus Vas. V. et. al. *Combined method for extraction of flat and/or steep coal measures of anticlinal deposits*; IPC E21/C 41/00 (2006.01). RF patent No. 2425216, Submitted 12/28/2009, Publ. 07/27/2011, Bulletin No. 21. (In Russ.).
45. Senkus Val. V., Stefanyuk B. M., Senkus V. V., Senkus Vas. V. et. al. *Combined method for extraction of flat and/or steep coal measures of anticlinal deposits*; IPC E21/C 41/00 (2006.01). RF patent No. 2425216, Submitted 12/28/2009, Publ. 07/27/2011, Bulletin No. 21. (In Russ.).
46. Senkus Val. V., Melnik B. V., Senkus V. V. et. al. *Combined method for extraction of coal measures*; IPC E21/C 40/02 (2006.01). RF patent No. 2477793, Submitted 09/20/2011, Publ. 03/20/2013, Bulletin No. 8. (In Russ.).
47. Senkus Val. V., Ermakov A. Yu., Stefanyuk B. M. et. al. *Method for extraction of thick flat coal seams*. IPC E21/C 41/32, RF patent No. 2563003, Submitted 08/06/2014, Publ. 09/10/2015, Bulletin No. 25. (In Russ.). (In Russ.).
48. Senkus Val. V., Melnik B. V., Stefanyuk B. M. et. al. (Patent holder FSBEI HPE "KemSU"). *Complex for mechanical-hydraulic reclamation of disturbed lands*; IPC E21C 41/32, RF patent No. 2569145, Submitted 08/06/2014, Publ. 11/20/2015, Bulletin No. 32. (In Russ.). (In Russ.).
49. Senkus Val. V., Senkus Vas. V., Stefanyuk B. M. et. al. (Patent holder FSBEI HPE "KemSU"). *Technique of mechanical-hydraulic reclamation of disturbed lands*; IPC E21C 41/18, RF patent No. 2569146, Submitted 08/06/2014, Publ. 11/20/2015, Bulletin No. 32. (In Russ.). (In Russ.).
50. Senkus Val. V., Melnik B. V., Stefanyuk B. M. et. al. (Patent holder FSBEI HPE "KemSU"). *Complex for mechanical-hydraulic reclamation of disturbed lands*; IPC E21C 41/32, RF patent No. 2569145, Submitted 08/06/2014, Publ. 11/20/2015, Bulletin No. 32. (In Russ.). (In Russ.).
51. Ermakov A. Yu., Senkus V. V., Senkus Val. V. (Patent holder: SibNIIugleobogashenie LLC). *Mine drainage for extraction of anticlinal coal deposits using combined system*; IPC E02D 19/00 (2006.01). RF patent No. 2622972; Submitted 02/09/2016, Publ. 06/21/2017, Bulletin No. 18. (In Russ.).
52. Ermakov A. Yu., Senkus Val. V. et. al. (Patent holder: SibNIIugleobogashenie LLC). *Mine drainage for extraction of flat and steep coal seams using combined system*; IPC E02D 19/06 (2006.01). RF patent No. 2627504; Submitted 02/09/2016, Publ. 08/08/2017, Bulletin No. 22. (In Russ.).
53. Ermakov A. Yu., Senkus V. V. *Method of reclamation of open pit mines*; IPC 41/32, A01B 79/02. RF patent No. 2655548, Submitted 06/26/2017, Publ. 05/28/2018, Bulletin No. 16. (In Russ.).
54. Ermakov A. Yu., Senkus V. V. *A method of airing underground mine workings for combined mining of synclinal coal deposits*; IPC E21F 1/00. RF patent No. 2679003, Submitted 10/17/2017, Publ. 02/05/2019, Bulletin No. 4. (In Russ.).
55. Ermakov A. Yu., Senkus V. V. *A method of airing underground mine workings for combined mining of synclinal coal deposits*; IPC E21F 1/08 (2006.01). RF patent No. 2679015, Submitted 10/17/2017, Publ. 02/05/2019, Bulletin No. 4. (In Russ.).

56. Senkus Val. V., Ermakov A. Yu., Senkus Vas. V. (Patent holder: SibNIIugleobogashenie LLC). *Mine drainage for extraction of synclinal coal deposits using combined system*; IPC E02D19/00. RF patent No. 2016104259; Submitted 02/09/2016, Publ. 06/21/2017, Bulletin No. 18. (In Russ.).

57. Senkus Val. V., Ermakov A. Yu., Senkus Vas.V. (Patent holder: SibNIIugleobogashenie LLC). *Mine drainage for extraction of of flat and steep coal seams using combined*; IPC E02D19/00. RF patent No. 2016104262; Submitted 02/09/2016, Publ. 06/21/2017, Bulletin No. 18. (In Russ.).

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ / ORIGINAL PAPERS

DOI: 10.17073/2500-0632-2019-4-251-261

Исследование ослабленности массива пород при подземной добыче руд**Голик В. И.¹, Масленников С. А.², Нуньес Родригес Альберто Мартин³, Анищенко В. И.⁴**¹Северо-Кавказский горно-металлургический институт (СКГТУ), Владикавказ, Россия²Донской государственный технический университет (филиал), Шахты, Россия³Технический университет, Восточный Сибирь, Доминиканская республика⁴LLC "Spetsmodulproekt", Нью-Йорк, США

Аннотация: Оптимизация процессов подземной разработки месторождений осуществляется за счет рационального использования энергии для получения заданной крупности руд. Ее успех зависит от учета свойств разрушаемой среды. Важную роль в управлении энергией играет ослабленность пород природными и техногенными силовыми полями. Для внесения коррективов в общую модель управления энергией нужны сведения о строении массива, получаемые геофизическими методами. Поскольку для уменьшения выхода негабаритных или излишне измельченных фракций минералов в процессе отбойки используют регулирование затрат энергии взрыва на степень разупрочнения пород, целью исследования является определение эффективности использования геофизических методов для оперативной и корректной оценки состояния породных и закладочных массивов при подземной разработке месторождений твердых полезных ископаемых. Ослабленность массивов пород оценивается методом электрометрических исследований в бескерновых разведочных скважинах. Сопоставлением данных о степени ослабленности установлено наличие корреляционной связи между участвующими параметрами, что позволяет выразить зависимость между ними. Дана оценка эффективности использования геофизических методов для дифференциации природных и искусственных массивов по ослабленности геологическими и технологическими силовыми полями. Для определения коэффициента ослабления по кажущемуся сопротивлению пород использованы материалы электрометрического каротажа. На основе выявленной зависимости породный массив дифференцирован по степени ослабленности пород. Дифференцированы и детализированы особенности составляющих комплекса геофизических методов исследований. Приведены методология и результаты подземного электротондирования последовательной градиент-установкой с помощью теоретических кривых на конкретном металлическом месторождении с определением проводимости пород и расстояния до выработки. Дифференцированно дана оценка корректности геофизических методов: ослабленности пород электрометрическим каротажом скважин, а опережающее оконтуривание зон неоднородностей в массивах месторождений – электротондированием вдоль стенок выработок. На основании проведенных опытных работ по выявлению структурных границ в массиве метод электротондирования вдоль стенок выработок рекомендован для практического применения. При использовании скважинного электротондирования сходимость экспериментальных кривых с теоретическими недостаточна.

Ключевые слова: разработка месторождения, порода, ослабленность, геофизические методы, электрометрия, электротондирование.

Для цитирования: Голик В. И., Масленников С. А., Нуньес Родригес Альберто Мартин, Анищенко В. И. Исследование ослабленности массива пород при подземной добыче руд. *Горные науки и технологии*. 2019;4(4):251-261. DOI: 10.17073/2500-0632-2019-4-251-261.



Study of Rock Mass Stability Decrease due to Underground Mining

V. I. Golik¹, S. A. Maslennikov², Alberto Martin Nunez Rodriguez⁴, V. I. Anischenko⁴

¹North-Caucasian Mining and Metallurgical Institute (SKGTU), Vladikavkaz, Russia

²Don State Technical University, Shakhty, Russia

³Technical University, East Sibao, Dominican Republic

⁴LLC "Spetsmodulproekt", New York, USA

Abstract: The optimization of underground mining processes is carried out based on rational use of energy for obtaining preset broken ore size. The effective optimization requires correct assessment of the properties of the rock mass to be broken. Energy management requires assessment of rock mass stability decrease due to impact of natural and technogenic stresses. To make adjustments to the general energy management model, information on the rock mass structure is required to be obtained by geophysical methods. To optimize broken rock/ore size (to minimize oversized or excessively crushed mineral fraction yield during breaking), blasting energy application should be regulated and smart. The study is aimed at assessing the effectiveness of using geophysical methods for the prompt and correct assessment of rock and backfill mass condition during underground mining of mineral deposits. Decreasing stability of rock masses is assessed using the method of electrometric surveys in noncore exploratory boreholes. Rock mass stability study allowed revealing correlation and dependencies between the studied parameters. Effectiveness of using geophysical methods for differentiating natural and technogenic masses by degree of decreasing their stability due to geological and technogenic stresses. To determine the coefficient of decreasing rock mass stability based on rock apparent resistivity data, electrometric logging was used. This allowed to differentiate rock mass by the degree of decreasing rock mass stability based on the revealed dependency. The features of the geophysical survey components are described in details. The methodology and findings of the underground electric sounding using a sequential gradient electrode system at specific metal deposit are presented, including using theoretical curves and determining rock conductivity and the distance to workings. Besides, correctness of the geophysical method findings was assessed differentially. The assessment was prepared for decreasing rock mass stability based on electrometric logging data, and for advance outlining heterogeneity zones in rock masses by electric sounding along working walls. Based on findings of the conducted experimental work on revealing structural boundaries within rock mass, the method of electric sounding along working walls was recommended for application in practice. As for the studied borehole electric sounding application, the convergence of the experimental and theoretical curves is insufficient to recommend the method for practical application.

Keywords: deposit development, rock, decreasing stability, geophysical methods, electrometry, resistivity sounding.

For citation: Golik V. I., Maslennikov S. A., Nunez Rodriguez Alberto Martin, Anischenko V. I. Study of rock mass stability decrease due to underground mining. *Gornye nauki i tekhnologii = Mining Science and Technology (Russia)*. 2019;4(4):251-261. (In Russ.). DOI: 10.17073/2500-0632-2019-4-251-261.

Введение

Для оптимизации процессов подземной разработки месторождений, например выщелачивания металлов из руд, нужны надежные методы управления энергией взрыва для получения заданной крупности руд [1–3]. Качество дробления оценивают по распределению отбитой руды по фракциям крупности и характеру проработки поверхности отрыва, причем основным показателем является суммарная площадь образованных в результате взрыва кусков.

Для достижения этого параметры взрыва должны определяться в зависимости от свойств разрушаемой среды. Чтобы уменьшить выход негабаритных или излишне измельченных фракций минералов, в процессе отбойки регулируют затраты энергии взрыва на степень разупрочнения пород [4–7].

Разрушение массива горных пород при взрывании заряда происходит под воздействием изменяющихся в пространстве и времени напряжений. В новых условиях пара-

метры взрыва должны обеспечивать равномерное дробление с минимальным выходом негабаритных фракций, равномерное разрыхление взорванной руды и полную проработку рудного массива.

Увеличение выхода машинного класса имеет первостепенное значение для всех технологий добычи руд, поэтому приоритетное значение приобретает проблема учета однородности массива при организации взрывной отбойки руд. Основную роль в управлении взрывом играет ослабленность пород природными и техногенными силовыми полями. Для внесения коррективов в общую модель действия взрыва нужны сведения о внутреннем строении массива или о влиянии на него горно-геологических и горнотехнических факторов [8–13].

Решить эти проблемы могут геофизические методы исследования природных и техногенных массивов [14–19].

Цели и задачи. Целью исследования является определение в натуральных условиях эффективности использования геофизических методов для оперативной оценки состояния породных и закладочных массивов при подземной разработке месторождений твердых полезных ископаемых. Для достижения поставленной цели экспериментально полученные данные сравниваются с данными расчетов. Задачей исследования является организация экспериментов по применению геофизических методов в условиях конкретного металлического месторождения.

Результаты

Изучение ослабленности массивов пород электрометрическим методом. Определение ослабленности массивов пород методом извлеченного керна предполагает керновое бурение, что не всегда возможно. Возможность изучения ослабленности массивов пород увеличивается применением геофизических методов электрометрических исследований в бескерновых разведочных скважинах, в ходе чего получены подтверждения целесообразности применения метода электрометрии

для изучения структуры и ослабленности массива пород.

Сопоставление данных о степени ослабленности по керну и электрометрическому каротажу было установлено наличие корреляционной связи между коэффициентом ослабления пород в массиве (K_0) и эффективным кажущимся сопротивлением горных пород (ρ_k). Существование такой связи может быть объяснено зависимостью обоих этих показателей от одной характеристики массива – трещиноватости пород.

Сопоставление значений K_0 и средних интегральных значений кажущегося сопротивления пород позволяет выразить зависимость между этими параметрами функцией вида:

$$K_0(\rho_k) = \{-2,148 \cdot 10^{-7} \rho_k^2 + 3,84 \cdot 10^{-4} + 0,7\}$$

для $0 < (\rho_k) < 1 \cdot 10^{-3}$ Ом·м;

$$K_0(\rho_k) = \{-1,545 \cdot 10^{-8} \rho_k^2 + 1,556 \cdot 10^{-4} + 1,114\}$$

для $1 \cdot 10^{-3} < (\rho_k) < 2,6 \cdot 10^{-3}$ Ом·м.

Аппроксимация функции, заданной таблично, проводилась способом наименьших квадратов. Оценка найденной зависимости $K_0(\rho_k)$ дана с помощью корреляционного отношения, которое составляет не менее 0,94. Таким образом, данная связь является реальной и позволяет определить коэффициент ослабления пород в массиве по кажущемуся сопротивлению. Зависимость $K_0(\rho_k)$ приведена на рис. 1.

Для определения коэффициента ослабления по кажущемуся сопротивлению пород материалы электрометрического каротажа предварительно обрабатывали по существующим методикам. Результаты каротажа скважин гор. –155 м, –180 м, –202 м приведены на рис. 2–5.

Данные графиков (ρ_k) свидетельствуют о различии в трещиноватости пород. По ним возможно выделение интервалов скважин, различающихся значениями (ρ_k), а значит, определенной степенью трещиноватости пород и значением K_0 .



Рис. 1. График зависимости коэффициента ослабления пород в массиве (K_0) от кажущегося сопротивления (ρ_k)

Fig. 1. The dependence of coefficient of decreasing rock mass stability (K_0) on apparent resistivity (ρ_k)

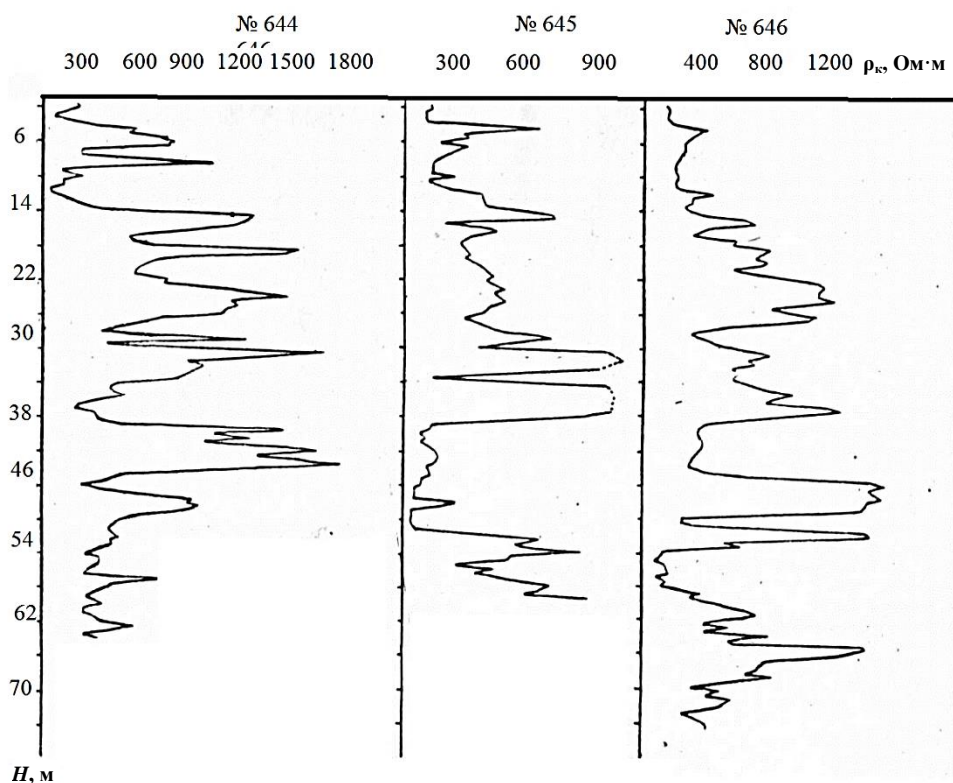


Рис. 2. Результаты электрометрического каротажа в скважинах 644...646

Fig. 2. Results of electrometric logging in boreholes 644 ... 646

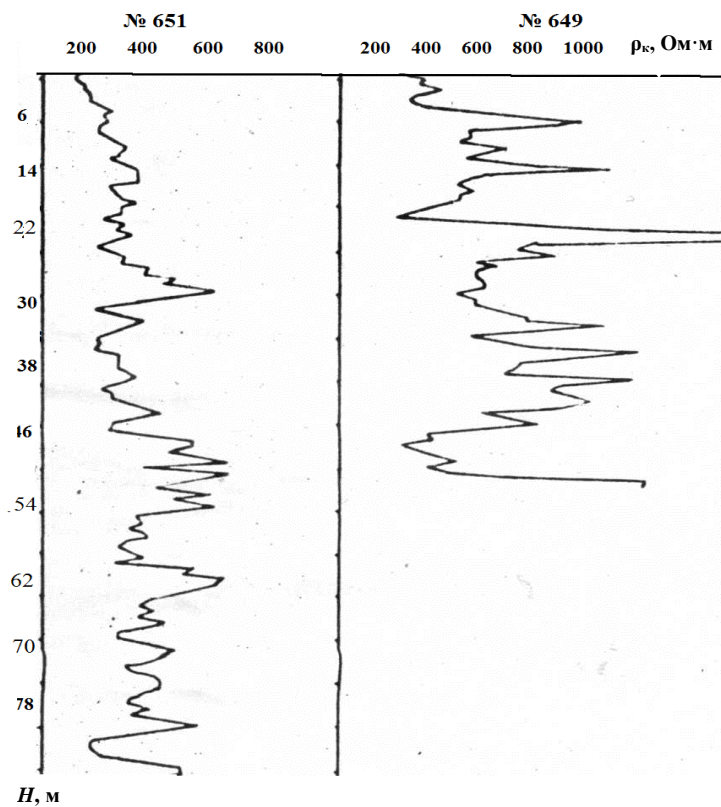


Рис. 3. Результаты электрометрического каротажа в скважинах 649 и 651

Fig. 3. Results of electrometric logging in boreholes 649 and 651

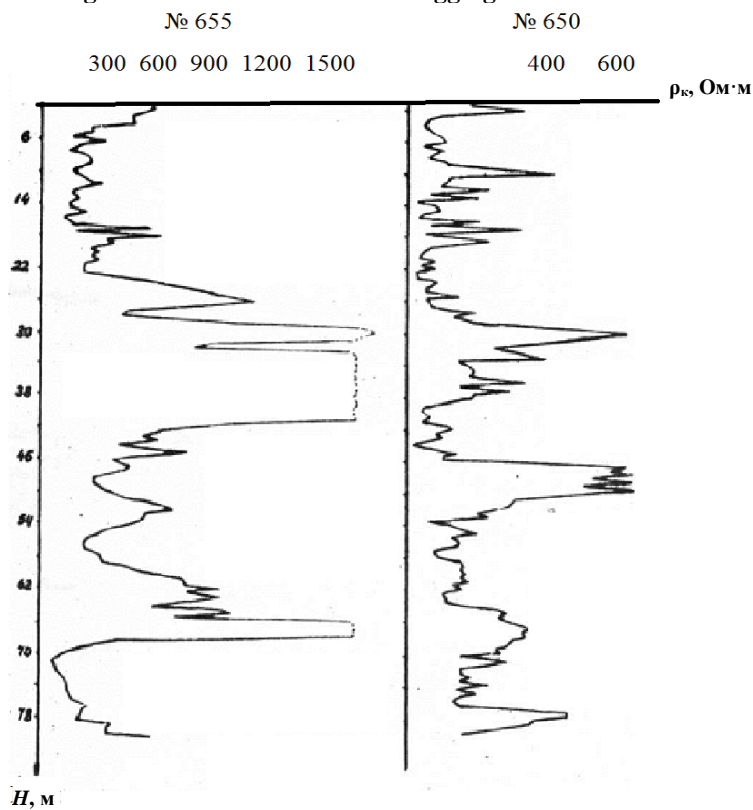


Рис. 4. Результаты электрометрического каротажа в скважинах 650 и 655

Fig. 4. Results of electrometric logging in boreholes 650 and 655

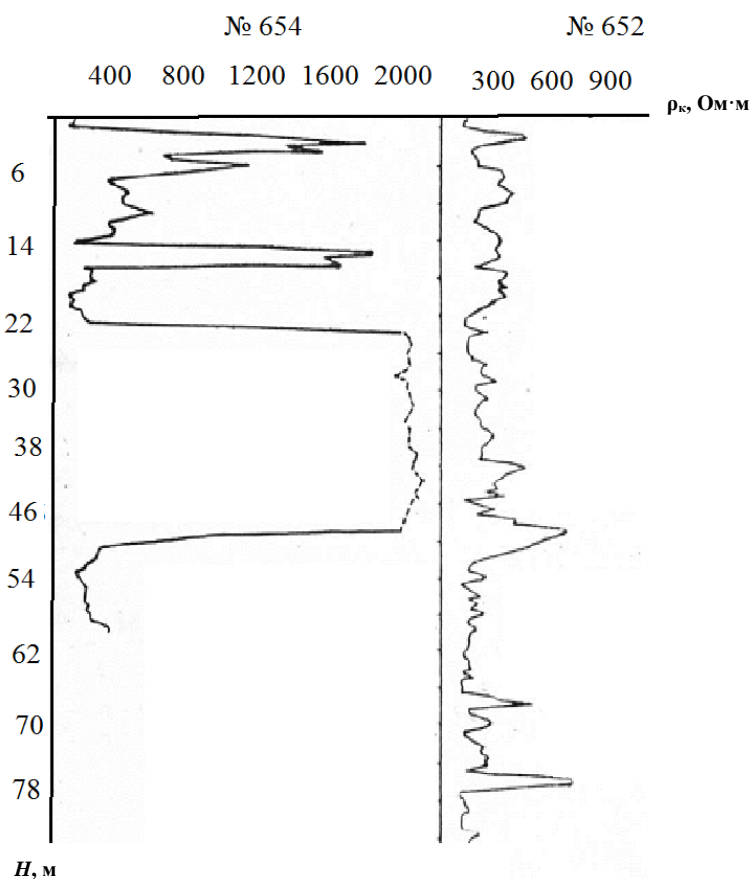


Рис. 5. Результаты электрометрического каротажа в скважинах 652 и 654

Fig. 5. Results of electrometric logging in boreholes 652 and 654

Так, интервалы 28...38, 43...53, 63...80 м скважины № 650 характеризуются низкопроводящими породами с невысокой степенью трещиноватости и более высоким значением K_0 . В скважине № 655 четко выделяется зона пород, имеющих сравнительно низкую проводимость (интервал 28–42 м).

Важно, что мощность этой зоны значительно превышает расстояние между парными электродами электрометрического зонда, в связи с чем значения уменьшаются. Кроме того, уменьшение значений кажущегося сопротивления на контакте разных по проводимости пород объясняется эффектом экранной аномалии, которая связана с переходом питающих электродов через контакт существенно различающихся по проводимости пород.

Анализ результатов электрометрического каротажа скважин позволил на основе

выявленной зависимости $K_0(\rho_k)$ дифференцировать массив по степени ослабленности пород (таблица).

Выявление зон неоднородностей в массиве пород геофизическими методами. На месторождениях руд развиты мощные линейные глинисто-щелочистые обводненные коры выветривания, глубина развития которых достигает 200...400 м от поверхности земли. При отработке таких месторождений актуален опережающий прогноз таких полостей.

Задача выявления зон тектонических нарушений, линейных зон выветривания, карстовых полостей, контактов различных литотипов пород в подземных условиях решается комплексом геофизических методов, в том числе акустическим, радиоволнового просвечивания, электрометрии.

Результаты электрометрического каротажа скважин

Results of electrometric borehole logging

Номера скважин								
644	645	646	649	651	652	654	650	655
Интервал глубин, м/коэффициент ослабления								
$\frac{1...9}{0,15}$	$\frac{1...27}{0,16}$	$\frac{1...14}{0,12}$	$\frac{1...15}{0,18}$	$\frac{1...8}{0,13}$	$\frac{1...42}{0,14}$	$\frac{1...17}{0,20}$	$\frac{1...28}{0,12}$	$\frac{1...23}{0,14}$
$\frac{9...14}{0,12}$	$\frac{27...38}{0,22}$	$\frac{15...39}{0,18}$	$\frac{1...35}{0,22}$	$\frac{...35}{0-16}$	$\frac{4...47}{0,18}$	$\frac{1...23}{0,19}$	$\frac{2...38}{0,20}$	$\frac{2...28}{0,22}$
$\frac{14...34}{0,21}$	$\frac{38...52}{0,09}$	$\frac{39...43}{0,16}$	$\frac{35...39}{0,16}$	$\frac{35...71}{0,18}$	$\frac{47...80}{0,13}$	$\frac{23...45}{0,40}$	$\frac{38...46}{0,12}$	$\frac{28...42}{0,40}$
$\frac{34...38}{0,16}$	$\frac{52...60}{0,19}$	$\frac{43...53}{0,26}$	$\frac{39...41}{0,23}$	$\frac{71...77}{0,14}$		$\frac{45...56}{0,18}$	$\frac{46...53}{0,24}$	$\frac{42...69}{0,20}$
$\frac{38...50}{0,22}$	–	$\frac{53...58}{0,13}$	–	$\frac{77...80}{0,16}$	–	–	$\frac{53...63}{0,13}$	$\frac{60...78}{0,14}$
$\frac{50...65}{0,18}$	–	$\frac{58...75}{0,18}$	–	–	–	–	$\frac{63...80}{0,19}$	

Сущность акустического метода заключается в измерении кинематических и динамических характеристик различных типов волн. Основные модификации этого метода: прозвучивание между скважинами, профилирование вдоль стенок выработок и акустический каротаж.

Метод радиоволнового просвечивания является лучевым. В одной скважине (выработке) устанавливается передатчик радиоволн, а в соседних скважинах (выработках) измеряется напряженность электромагнитного поля. Интерпретация результатов основана на повышении коэффициента поглощения радиоволн карстовыми полостями и зонами.

Метод электрометрии основан на выделении пород с различной электропроводностью. Особого внимания при этом заслуживают участки пониженного электрического сопротивления. Резким сменам значений электрического сопротивления могут соответствовать контакты пород с сильно различающимися свойствами. Существует множество модификаций этого метода, среди которых наиболее широкое применение имеют электрометрический каротаж и электропрофилирование по стенкам выработок. Исследования методом подземного электрозондирования (ПЭЗ) проведены на месторождении Северного Казахстана. В отличие от поверхностного зондирования, в шахтных условиях предоставляется возможность проводить ПЭЗ в двух модификациях:

– опережающее скважинное зондирование – разведка зон с различной проводимостью впереди забоя;

– зондирование по стенкам выработок для определения контакта двух сред, расположенных параллельно горной выработке или под углом не более 15°.

Скважинное электрозондирование. Наибольшие искажения ρ_k при опережающем электрозондировании имеют место в случае, когда питающий либо приемный электрод находятся как можно ближе к контакту разнородных пород. В этом случае целесообразно трехэлектродное градиент-зондирование, в котором из-за малой величины приемной линии помехи невелики. Вблизи забоя скважины оставляют неподвижным приемный диполь MN , а питающий электрод A с определенным шагом перемещают к устью скважины. Другой питающий электрод относят в бесконечность, т.е. чтобы его влияние меньше сказывалось на величину потенциала при различных поведении градиент-установки. Такую установку называют «последовательная градиент-установка» AMN (по аналогии со скважинным электрокаротажем). Наиболее удачной эта установка является еще из-за того, что один лишь питающий электрод перемещается в процессе измерений, а три других остаются неподвижными, чем достигается высокая точ-

ность измерений, поскольку переходные сопротивления неподвижных электродов остаются постоянными. Для такой установки величина коэффициента K :

$$\rho_k = \Delta U / I$$

определяется из выражения

$$K = 4\pi \frac{AM \cdot AN}{MN}$$

где ΔU – разность потенциалов на приемных электродах MN ; I – ток питающих электродов АД; AM , AN , MN – расстояния между питающими приемными электродами.

Интерпретация экспериментальных кривых зондирования последовательной градиент-установкой проводится с помощью теоретических кривых (палеток). Для этого интерпретируемая кривая строится на билогарифмическом бланке. По оси ординат откладывается (ρ_k), по оси абсцисс – AO , расстояние от питающего электрода до центра приемного диполя MN . Накладывая на палетку и добиваясь наилучшего совмещения экспериментальной кривой с теоретической, определяют количественные результаты проводимости пород и расстояние до контакта, ближайшего к выработке.

При электроразондировании по стенкам выработок методика измерений отличается. Измерения выполняются симметричной четырехэлектродной градиент-установкой $AMNB$. Величина остается постоянной (0,5 м), а расстояние между питающими электродами (разносы) постепенно увеличиваются с геометрической прогрессией 1,3. Зная разность потенциала на MN и силу тока I в AB ρ_k рассчитывают из выражения

$$\rho_k = \Delta U / I,$$

где K определяется по формуле

$$K = \pi \frac{(AB/2)^2 - (MN/2)^2}{MN} C.$$

Входящий в формулу поправочный множитель C учитывает влияние выработки. Его величина определяется по ВНИМИ. Интер-

претация кривых симметричного электроразондирования проводится аналогично описанной выше.

Симметричное последовательное электроразондирование проводилось по стенкам ортов, а скважинное опережающее зондирование – по скважине № 90. Скважинным зондированием определяли расстояние до контакта известняков, которые отличаются по проводимости от вмещающих их алевролитов и порфиритов на порядок. От контакта известняков на различном расстоянии ставились трехэлектродные зонды последовательной и обращенной установки. Полученные кривые интерпретировались с помощью специальных палеток. Однако экспериментальные кривые лишь частично совмещались с теоретическими. Соответственно линия глубин на палетке в большинстве случаев не соответствовала истинному расстоянию до контакта известняков. Для соответствия экспериментальных и теоретических кривых в формулы теоретических кривых необходимо вводить коэффициенты, учитывающие влияние горных выработок, углы наклона и простирания контактов.

По результатам электроразондирования вдоль стенок выработок проводился качественный анализ наблюдаемых кривых (ρ_k), позволивший выделить геоэлектрические зоны, соответствующие контакту высокопроводящего массива из затвердевшей бетонной смеси. Подъем правой ветви кривой объясняется тем, что с увеличением разносов питающих линий на геоэлектрическое поле существенно влияют низкопроводящие зоны известняков.

В целом данные электроразондирований совпадают с результатами маркшейдерских данных в контурах камер, заполненных твердеющей закладкой.

Результаты исследований по существу рассматриваемой проблемы могут быть востребованы при решении проблем охраны окружающей среды от агрессивного воздействия горного производства [20...24].

Использование технологий дифференцированного назначения параметров добычи руд при соответствующих условиях формирует эколого-экономический эффект [25...27].

Выводы

Экспериментально обоснована возможность производить оценку ослабленности пород электрометрическим каротажем скважин, а электроразведыванием вдоль стенок выработок – опережающее оконтуривание зон неоднородностей в массивах месторождений.

На основании проведенных опытных работ по выявлению структурных границ в массиве электроразведыванием вдоль стенок выработок метод можно рекомендовать для практического использования.

Результаты же скважинного электроразведывания не позволяют судить об эффективности этого метода, поскольку экспериментальные кривые имеют недостаточную сходимость с теоретическими расчетами.

Библиографический список

1. Goodarzi A., Oraee-Mirzamani N. Assessment of the Dynamic Loads Effect on Underground Mines Supports. In: *30th International Conference on Ground Control in Mining*. 2011. P. 74–79.
2. Woodward K., Wesseloo J. Observed spatial and temporal behaviour of seismic rock mass response to blasting. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 2015;115(11):1044–1056.
3. Голик В. И., Савелков В. И., Гашимова З. А., Келехсаев В. Б. Модели взаимодействия природных и технических систем на основе геомеханической сбалансированности при добыче руд. *Вектор ГеоНаук*. 2018;(1(2)):21–28.
4. Голик В., Комашченко В., Моркун В., Ирина Г. Повышение эффективности взрывного разрушения на руднике новых методов инициирования скважинных зарядов в карьерах. *Металлургическая и горнодобывающая промышленность*. 2015;7(7):383–387.
5. Cardu M., Seccatore J., Vaudagna A., Rezende A., Galvão F., Bettencourt J. S., Tomi de G. *Evidences of the influence of the detonation sequence in rock fragmentation by blasting*. Part I. REM: Revista Escola de Minas. 2015;68(3):337–342.
6. Khani A., Baghbanan A., Norouzi S., Hashemolhosseini H. Effects of fracture geometry and stress on the strength of a fractured rock mass. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*. 2013;(60):345–352.
7. Kidybinski A. The role of geo-mechanical modelling in solving problems of safety and effectiveness of mining production. *Archives of Mining Sciences*. 2010;55(2):263–278.
8. Najafi A. B., Saedi G. R., Farsangi M. A. E. Risk analysis and prediction of out-of-seam dilution in longwall mining. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2014;70:115–122.
9. Oraee-Mirzamani K., Ping Y. J., Zhong C. W., Sen Y. D., Qiang Y. J. Numerical determination of strength and deformability of fractured rock mass by FEM modeling. *Computers and Geotechnics*. 2015;64:20–31.
10. Golik V., Komashchenko V., Morkun V., Irina G. Improving the effectiveness of explosive breaking on the bade of new methods of borehole charges initiation in quarries. *Metallurgical and Mining Industry*. 2015;7(7):383–387.
11. Молев М. Д., Страданченко С. Г., Масленников С. А. Теоретическое и экспериментальное обоснование построения региональных систем мониторинга безопасности техносферы. *Журнал инженерных и прикладных наук АРПН*. 2015;10(16):6787–6792.
12. Golik V., Komashchenko V., Morkun V., Zaalishvili V. Enhancement of lost ore production efficiency by usage of canopies. *Metallurgical and Mining Industry*. 2015;7(4):325–329.
13. Molev M. D., Stradanchenko S. G., Maslennikov S. A. Theoretical and experimental substantiation of construction regional security monitoring systems technospheric. *ARP Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2015;10(16):6787–6792.
14. Голик В. И., Савелков В. И., Гашимова З. А., Келехсаев В. Б. К мониторингу состояния массива пород при освоении недр в течение неопределенно долгого периода времени. *Вектор ГеоНаук*. 2018;(1(2)):48–60.
15. Семенова И. Э., Аветисян И. М., Земцовский А. В. Геомеханическое обоснование отработки запасов глубокого горизонта в сложных горно-геологических и геодинамических условиях. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2018;(12):65–73.
16. Куранов А. Д. Методика прогнозирования напряженно-деформированного состояния горного массива при комбинированной разработке Коашвинского месторождения. *Горный журнал*. 2015;(1):67–71.

17. Заалишвили В. Б., Бурдзиева О. Г., Закс Т. В., Кануков А. С. Информационный мониторинг распределённых физических полей в пределах урбанизированной территории. *Геология и геофизика Юга России*. 2013;(4):8-16.

18. Плешко М., Панкратенко А., Ревякин А., Щекина Е., Холодова С. Новые технологии подземных сооружений в условиях сдержанных городских условий. In: *E3S Web of Conferences*. 2018;33:02036. DOI: 10.1051/e3sconf/20183302036.

19. Дмитрак Ю. В., Логачева В. М., Подколзин А. А. Геофизическое прогнозирование нарушенности и обводненности массива горных пород. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2006;(11):35–36.

20. Качурин Н. М., Стась Г. В., Корчагина Т. В., Змеев М. В. Геомеханические и аэрогазодинамические последствия подработки территорий горных отводов шахт Восточного Донбасса. *Известия Тул. гос. ун-та. Сер. «Науки о Земле»*. 2017;(1):170–182.

21. Качурин Н. М., Стась Г. В., Калаева С. З., Корчагина Т. В. Геоэкологическая оценка эффективности защиты окружающей среды и природо-охранительных мероприятий при подземной добыче угля. *Известия Тульского государственного университета. Сер. Науки о Земле*. 2016;(3):62-79.

22. Дмитрак Ю. В., Логачева В. М., Подколзин А. А. Геофизическое прогнозирование нарушенности и обводненности массива горных пород. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2006;(11):35–36.

23. Заалишвили В. Б., Бурдзиева О. Г., Закс Т. В., Кануков А. С. Информационный мониторинг распределённых физических полей в пределах урбанизированной территории. *Геология и геофизика Юга России*. 2013;(4):8–16.

24. Комащенко В. И., Васильев П. В., Масленников С. А. Технологией подземной разработки месторождений КМА – надёжную сырьевую основу. *Известия Тул. гос. ун-та. Сер. «Науки о Земле»*. 2016;(2):101-114.

25. Snelling P. E., Godin L., McKinnon S. D. The role of geologic structure and stress in triggering remote seismicity in Creighton Mine, Sudbury, Canada. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*. 2013;58:166–179.

26. Каплунов Д. Р., Рыльникова М. В., Радченко Д. Н. Расширение сырьевой базы горнорудных предприятий на основе комплексного использования минеральных ресурсов месторождений. *Горный журнал*. 2013;(12):29–33.

27. Грязев М. В., Качурин Н. М., Захаров Е. И. Тульский государственный университет: 85 лет на службе отечеству. *Горный журнал*. 2016;(2):25–29.

References

1. Goodarzi A., Oraee-Mirzamani N. Assessment of the Dynamic Loads Effect on Underground Mines Supports. In: *30th International Conference on Ground Control in Mining*. 2011. P. 74–79.

2. Woodward K., Wesseloo J. Observed spatial and temporal behaviour of seismic rock mass response to blasting. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 2015;115(11):1044–1056.

3. Golik V.I., Savelkov V.I., Gashimova Z.A., Kelekhshayev V.B. Models of natural and technical systems interaction based on geotechnical sustainability in ore mining. *Vector of Geosciences*. 2018;(1(2)):21–28. (In Russ.).

4. Golik V., Komashchenko V., Morkun V., Irina G. Increasing effectiveness of explosive rock breakage at mines using new methods for initiating blasthole charges in open pits. *Metallurgical and Mining Industry*. 2015;7(7):383–387. (In Russ.).

5. Cardu M., Seccatore J., Vaudagna A., Rezende A., Galvão F., Bettencourt J. S., Tomi de G. *Evidences of the influence of the detonation sequence in rock fragmentation by blasting*. Part I. REM: Revista Escola de Minas. 2015;68(3):337–342.

6. Khani A., Baghbanan A., Norouzi S., Hashemolhosseini H. Effects of fracture geometry and stress on the strength of a fractured rock mass. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*. 2013;(60):345–352.

7. Kidybinski A. The role of geo-mechanical modelling in solving problems of safety and effectiveness of mining production. *Archives of Mining Sciences*. 2010;55(2):263–278.

8. Najafi A. B., Saedi G. R., Farsangi M. A. E. Risk analysis and prediction of out-of-seam dilution in longwall mining. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2014;70:115–122.

9. Oraee-Mirzamani K., Ping Y. J., Zhong C. W., Sen Y. D., Qiang Y. J. Numerical determination of strength and deformability of fractured rock mass by FEM modeling. *Computers and Geotechnics*. 2015;64:20–31.

10. Golik V., Komashchenko V., Morkun V., Irina G. Improving the effectiveness of explosive breaking on the bade of new methods of borehole charges initiation in quarries. *Metallurgical and Mining Industry*. 2015;7(7):383–387. (In Russ.).

11. Molev M. D., Stradanchenko S. G., Maslennikov S. A. Theoretical and experimental substantiation for creating regional systems for technosphere safety monitoring. *Journal of Engineering and Applied Sciences of Russian Academy of Technologies*. 2015;10(16):6787–6792. (In Russ.).



12. Golik V., Komashchenko V., Morkun V., Zaalishvili V. Enhancement of lost ore production efficiency by usage of canopies. *Metallurgical and Mining Industry*. 2015;7(4):325–329. (In Russ.).
13. Molev M. D., Stradanchenko S. G., Maslennikov S. A. Theoretical and experimental substantiation of construction regional security monitoring systems technospheric. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2015;10(16):6787–6792. (In Russ.).
14. Golik V. I., Savelkov V. I. Gashimova Z. A., Kelekhsaev V. B. On monitoring of rock mass conditions during subsoil use for indefinite period of time. *Vector of Geosciences*. 2018;(1(2)):48–60. (in Russ.).
15. Semenova I. E., Avetisyan I. M., Zemtsovsky A. V. Geotechnical substantiation of extraction of deep level reserves under complicated mining, geological and geodynamic conditions. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2018;(12):65–73. (in Russ.).
16. Kuranov A. D. Technique for predicting rock mass stress-strain state during combined mining of the Koshvinskoye deposit. *Mining Journal*. 2015;(1):67–71. (In Russ.).
17. Zaalishvili V. B., Burdzieva O. G., Zaks T. V., Kanukov A. S. Informational monitoring of distributed physical fields within an urbanized area. *Geology and Geophysics of the South of Russia*. 2013;(4):8-16. (In Russ.).
18. Pleshko M., Pankratenko A., Revyakin A., Schekina E., Kholodova S. New technologies for underground structures in restrained urban conditions. In: *E3S Web of Conferences*. 2018;33:02036. DOI: 10.1051/e3sconf/20183302036. (In Russ.).
19. Dmitrak Yu. V., Logacheva V. M., Podkolzin A. A. Geophysical prediction of broken condition and watering of rock mass. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2006;(11):35–36. (In Russ.).
20. Kachurin N. M., Stas G. V., Korchagina T. V., Zmeev M. V. Geotechnical and gas dynamic consequences of undermining of mining lease areas for Eastern Donbass mines. *Proceedings of Tula State University. Series "Earth Sciences"*. 2017;(1):170–182. (In Russ.).
21. Kachurin N. M., Stas G. V., Kalayeva S. Z., Korchagina T. V. Geocological assessment of environmental protection effectiveness and environmental protection measures in the process of underground coal mining. *Proceedings of Tula State University. Series "Earth Sciences"*. 2016;(3):62-79. (In Russ.).
22. Dmitrak Yu. V., Logacheva V. M., Podkolzin A.A. Geophysical prediction of broken condition and watering of rock mass. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2006;(11):35–36. (In Russ.).
23. Zaalishvili V. B., Burdzieva O. G., Zaks T. V., Kanukov A. S. Informational monitoring of distributed physical fields within an urbanized area. *Geology and Geophysics of the South of Russia*. 2013;(4):8–16. (In Russ.).
24. Komashchenko V.I., Vasiliev P.V., Maslennikov S.A. Reliable raw material base for KMA deposit underground mining. *Proceedings of Tula State University, Series "Earth Sciences"*. 2016;(2):101-114. (in Russ.).
25. Snelling P. E., Godin L., McKinnon S. D. The role of geologic structure and stress in triggering remote seismicity in Creighton Mine, Sudbury, Canada. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*. 2013;58:166–179.
26. Kaplunov D. R., Rylnikova M. V., Radchenko D. N. Expansion of resources base of mining enterprises based on multiple use of deposit mineral resources. *Mining Journal*. 2013;(12):29–33. (In Russ.).
27. Gryazev M. V., Kachurin N. M., Zakharov E. I. Tula State University: 85 years in the service of the motherland. *Mining Journal*. 2016;(2):25–29. (In Russ.).

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ / ORIGINAL PAPERS

DOI: 10.17073/2500-0632-2019-4-262-272

Новые решения в области рудничного транспорта для перехода к поточной отработке полезных ископаемых

Асанов А. А.¹, Гуменников Е. С.²¹Кыргызский государственный университет строительства, транспорта и архитектуры, Бишкек, Кыргызстан²Институт горного дела имени Д. А. Кунаева, Алматы, Казахстан

Аннотация: Транспортные системы горных предприятий во многом определяют их эффективность. Целью работы является выработка новых технических решений для прогрессивных систем рудничного транспорта, базирующихся на гармонизации технологических решений и оборудования. Цель работы достигается посредством введения новых конструкций рудничного транспорта, совместимых с проходческой техникой, которая позволяет перейти от циклической концепции деятельности горнодобывающего предприятия к поточной. Рассматривается вариант развития конструкций крутонаклонных и изгибающихся в контурах транспортных выработок конвейеров, в том числе подвесных и напольных трубопоточных конвейеров и пневмогидравлических трубопроводных систем для доставки кусковой руды от забоя на поверхность рудника. При этом основу предлагаемой технологии и оборудования составляет способ бесконтактного разрушения крепких пород путем использования гидроимпульсных силовых систем. Предлагаемые решения позволяют снизить капитальные и эксплуатационные затраты при добыче и переработке твердых полезных ископаемых.

Ключевые слова: горное предприятие; технологии добычи; рудничный транспорт, конвейер, трубопроводная установка, гидроимпульсное разрушение горных пород, технологический комплекс, горные выработки.

Для цитирования: Асанов А. А., Гуменников Е. С. Новые решения в области рудничного транспорта для перехода к поточной отработке полезных ископаемых. *Горные науки и технологии*. 2019;4(4):262-272. DOI: 10.17073/2500-0632-2019-4-262-272.

New Solutions for Mine Transport for the Transition to In-Line Mining of Minerals

A. A. Asanov¹, E. S. Gumennikov²¹Kyrgyz State University of Construction, Transport and Architecture, Bishkek, Kyrgyzstan²D. A. Kunayev Mining Institute, Almaty, Kazakhstan

Abstract: Mining transport systems largely determine effectiveness of mining enterprises. The study aim is developing new technical solutions for progressive mining transport systems based on the harmonization of technological solutions and equipment. The aim is achieved through the introduction of new mine transport designs compatible with tunneling machinery, enabling change from cyclic concept of a mining enterprise activity to in-line system concept. The option is considered on development of designs of steeply inclined and curving conveyors in transport workings, including overhead and floor pipe belt conveyors and airdraulic pipeline systems for delivering lump ore from the face to the surface in the mine. At the same time, the basis of the proposed technology and equipment is the method of contactless hard rock breaking by using hydroimpulsive facilities. The proposed solutions allow decreasing mineral mining and processing capital and operating costs.

Keywords: mining enterprise; production techniques; mine transport, conveyor, pipeline installation, hydroimpulsive rock breaking, technological complex, mine workings.

For citation: Asanov A. A., Gumennikov E. S. New solutions for mine transport for the transition to in-line mining of minerals. *Gornye nauki i tekhnologii = Mining Science and Technology (Russia)*. 2019;4(4):262-272. (In Russ.). DOI: 10.17073/2500-0632-2019-4-262-272.



Введение

Успешность экономик многих стран определяется эффективностью минерально-сырьевого комплекса, включающего в себя значительное число горнодобывающих предприятий, использующих разные технологии добычи полезных ископаемых. Независимо от форм собственности практически все современные компании постоянно заняты поиском новых технических и технологических решений, направленных на повышение эффективности добычи и первичной переработки твердых полезных ископаемых. Учитывая особую роль транспортных систем в обеспечении эффективности всего горного предприятия, вопросы, связанные с их моделированием, проектированием, созданием, эксплуатацией и развитием, являются актуальными [1–7].

Одним из таких направлений развития энерго- и ресурсосберегающих геотехнологий является технология, основанная на безвзрывном разрушении горных пород и организации поточного транспорта. Особенно указанное направление актуально в сложных горно-геологических условиях и при необходимости разрушения горных пород с высокими показателями крепости непосредственно в массиве, а также перед загрузкой в транспортную систему [8–16].

При подземных горных работах в условиях ограниченного пространства переход к поточной системе транспорта горной массы также имеет особое значение.

Цель работы

Сложные горно-геологические условия и крепкие породы резко снижают существующее многообразие техники и технологий разрушения горного массива, и, как правило, обоснуется выбор геотехнологий на основе взрывных методов разрушения горных пород, что приводит к ограничению производительности предприятия из-за цикличной системы организации процессов.

Целью работы является выработка решений, основанных на использовании невзрывных технологий разрушения массива горных

пород, создание единых линий транспортировки и первичной переработки горной массы (поэтапное ее дробление), возможности и показатели которых должны быть гармонизированы с технологическим горнодобывающим или горнопроходческим комплексом.

Основное содержание и результаты

Среди механических средств разрушения горных пород по энергозатратам, производительности и ресурсной стойкости инструмента разрушения наиболее эффективным является гидроструйный способ [9–11]. При этом скорость гидроструи имеет важнейшее значение в эффективности процесса разрушения. При скоростях 1000–1200 м/с и более эффективность способа может превысить взрывной. Ведутся многочисленные работы по поиску технических средств для создания мощных силовых приводов для достижения сверхзвуковых и далее гиперзвуковых скоростей импульсных струй в условиях существующих промышленных стандартов электропитания и экологических ограничений для горнорудной промышленности [17–22].

В современной технике использование гидроструи в большинстве случаев связано с буровой техникой или с техникой резанья блоков поделочного камня тонкими струями с добавлением в струю абразивных сыпучих материалов. Как этап развития безвзрывного способа разрушения крепких пород интенсивно развиваются комбинированные схемы с использованием механического удара в сочетании со струйными средствами.

Авторами статьи на основе ранее выполненных исследований был разработан новый силовой привод для гидроструйного разрушения самых крепких горных пород, основанный на электроразрядном принципе испарения и перегрева небольшой порции слабого электролита в зажатой среде в герметичном объеме. При этом в цилиндре перегретая паро-плазменная субстанция с некоторым временным энергонакоплением создавала достаточно высокое давление [23, 24].

Были проведены опытно-конструкторские работы по созданию действующей модели гидроимпульсного бурового снаряда. Проведены модельные испытания устройства (рис. 1) для разрушения горных пород. При этом параметры испытаний были следующие: потенциальная энергия сжатого объема – 56 кДж; полезная механическая энергия выстрела – 24 кДж.

Результаты испытания показали, что новое энергонакопительное устройство способно обеспечить скорость выброса ограниченного объема воды 700–800 м/с и более. При этом при резком торможении водяного заряда в пробиваемом канале в естественные и техногенные трещины проникает высоконапорная вода и производит воронкообразный отрыв с наименьшим расходом энергии. В этом случае для разрушения горных пород требуется энергии в разы меньше, поскольку разрушение большей частью происходит на растяжение, а не на сжатие. Конструкция силового привода созданного гидроимпульсного снаряда была

заложена в основу дальнейших исследований, а его технологические характеристики стали основой для разработки элементов системы рудничного транспорта.

В последнее время в качестве рудничного транспорта на открытых разработках все чаще используют крутонаклонные конвейеры для доставки кусковой руды на поверхность карьера и подачи ее на небольшое расстояние (до 10 км). В качестве магистрального непрерывного транспорта помимо конвейеров и пульпопроводов предлагаются струнные транспортные системы [25–27]. Инженерная идея, связанная со струнной транспортной системой, оказалась настолько заманчивой, что в последнее время этот способ транспортировки грузов и основанные на нем технологии получают распространение по миру, однако практически минуя при этом горную промышленность. Это во многом объясняется проблемами по их применению в условиях карьеров и шахт.



Рис. 1. Действующая модель гидроимпульсного бурового снаряда

Fig. 1. Scaled-down hydroimpulsive rock breaking drill

Для обеспечения непрерывной конвейерной транспортировки разрабатываемой твердой массы существуют три основных проблемы по ее применению:

- первая технологическая проблема заключается в оперативности наращивания длины конвейера по мере продвижения проходческого забоя от места выгрузки в магистральные транспортные средства;

- вторая проблема – это неспособность обычных станково-ленточных или скребковых конвейеров обслуживать проходку криволинейных участков выработок либо выработку с уклоном более 10–12°. При этом скребковые конвейеры весьма неэкономичны и имеют малую рабочую длину;

- третья проблема состоит в обеспечении доставки отбитой руды до места доставки без потерь.

Решение этих проблем предусматривает применение циклично-поточного процесса с мелкофракционной отбойкой горной массы в забое, при этом транспортные, вскрывающие, подготовительные и добычные выработки могут иметь криволинейные трассировки и уклоны до 30°. Исследования отечественного и мирового опыта показали отсутствие технических решений в данной области.

В связи с изложенным выше предлагается специальный погрузочный механизм (рис. 2), предназначенный для новых условий работы. Необходимость создания такого оборудования определяется как крутонаклонностью проходимой выработки, так и постоянным размещением у груди забоя непрерывно действующей техники, например гидропушки [5, 6]. Погрузочный механизм проектируется в виде пары наклонных стальных плит, между которыми смонтирована на подпружиненных шарнирных тягах оппозитная пара гусениц в сборе. Траки гусениц оборудованы жесткими съемными скребками. Заданный промежуток между оппозитными гусеницами со скребками, ограниченный сверху и снизу стальными плитами, образует крутонаклонный элеваторный лоток.

Обе гусеницы подпружинены навстречу друг другу. Это обеспечивает прохождение кускового материала между скребками в случае их накладки между собой. Две верхние приводные звездочки гусениц оборудованы вращательными приводами (электрическими мотор-редукторами мощностью по 25 кВт каждый). Плиты связаны между собой ребрами жесткости и устанавливается с помощью пневмоколесной пары наклонно к забою так, что абсолютный угол ее наклона составит до 75°. Передний край плиты консольно опирается на почву выработки. В широкой части плиты, примыкающей к забою на полную его ширину, траки со скребками подгребают отбитую породу от бортов выработки к центральной линии и увлекают ее в крутонаклонный элеваторный лоток.

Для транспортировки породопогрузочной машины под забойный край подводится съемная тележка. Обе плиты имеют сквозной проем, забранный прочной решеткой и подрешеточным броневым стеклом. Перед проемом на висячей стороне погрузчика оборудована кабина оператора, управляющего работой гидроимпульсной пушки. Кроме того, на висячей стороне устроено рабочее место оператора, управляющего работой погрузчика. Рабочие места операторов имеют свободный доступ в призабойное пространство как для профилактических работ, так и в целях защиты людей в экстренных ситуациях. Расчетная производительность погрузчика отбитой гидроимпульсным способом руды достигает до 6 м³ в минуту.

В качестве рудничного транспорта на открытых и подземных разработках предложен новый вид крутонаклонного ленточного конвейера для доставки кусковой и сыпучей руды, изгибающегося в двух измерениях по сложной трассировке горных выработок. На рис. 3 приведена схема экспериментального образца конвейера [28], где грузонесущим органом используется тонкая транспортерная лента (с двумя или тремя прокладками).

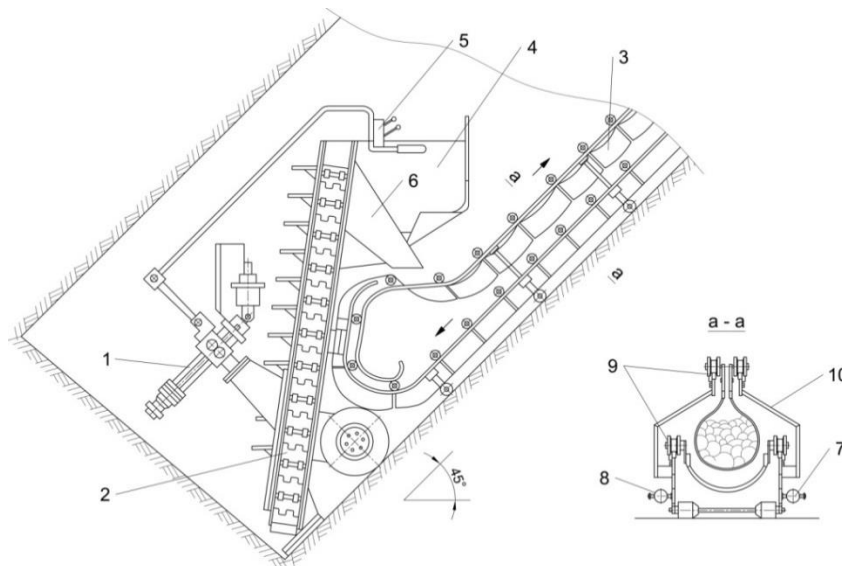


Рис. 2. Технологическая схема проходки крутонаклонной выработки:

1 – гидроимпульсная пушка ГПЭ-1200; 2 – двухэлеваторный перегружатель; 3 – крутонаклонный труболенточный конвейер; 4 – кабина оператора; 5 – пульт управления; 6 – рудоперегрузочный лоток; 7 – высоковольтный кабель; 8 – водопровод для гидропушки; 9 – стержневой каркас конвейера; 10 – корпус

Fig. 2. Steeply inclined working driving process layout:

1 – hydroimpulsive rock breaking drill GPE-1200; 2 – two-elevator reloader; 3 – steeply inclined pipe belt conveyor; 4 – operator's compartment; 5 – control panel; 6 – ore reloading tray; 7 – high voltage cable; 8 – water supply line for hydroimpulsive rock breaking drill; 9 – conveyor skeleton frame; 10 – frame plan

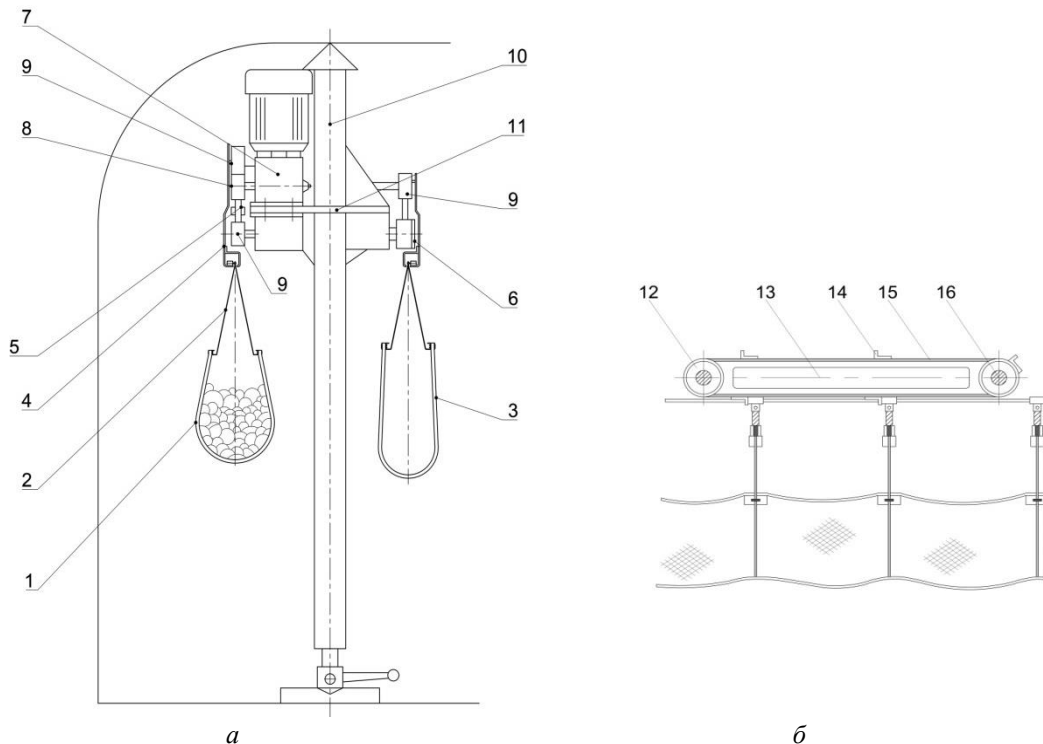


Рис. 3. Промежуточное сечение горизонтальной конвейерной выработки (а) и схема устройства промежуточного привода (б):

1 – резиноканевая конвейерная лента; 2 – элементы подвески; 3 – гибкие пояса; 4 – скобы подвески; 5 – натяжной замкнутый канат; 6 – ролики под натяжной канат; 7 – промежуточные приводы; 8 – передаточный механизм от привода на натяжной канат; 9 – прижимные ролики; 10 – распорные стойки; 11 – траверсы; 12 – вал приводной; 13 – цепь скребковая; 14 – кронштейн; 15 – направляющая цепи; 16 – концевая звездочка

Fig. 3. Intermediate section of horizontal belt roadway (a) and arrangement of intermediate drive (b):

1 – rubber-fabric conveyor belt; 2 – suspension members; 3 – flexible belts; 4 – suspension supporting clips; 5 – tension endless rope; 6 – rollers for the tension rope; 7 – intermediate drives; 8 – transmission gear from the drive to the tension rope; 9 – pressure rollers; 10 – simplex jacks; 11 – spreader bars; 12 – drive shaft; 13 – scraper chain; 14 – supporting arm; 15 – chain guide; 16 – sprocket tip

Лента подвешивается посредством охватных поясов, рассредоточенных по ее длине через 1,5 м. Между поясами по краям ленты или по месту склепки пары лент (спаренная лента для увеличения производительности доставки материала) монтируются гибкие стальные полосы жесткости, шарнирно связанные с последующими жесткостями по всей длине конвейера. Концы поясов в местах шарниров оборудованы накидными роликами, опирающимися на гибкие стальные стержни, которые связаны между собой в полужесткую конструкцию отдельными участками по 15 м. Между собой участки соединяются гибкими элементами. Накидные ролики соединены последовательно гибкими тягами, которые находятся во взаимодействии с промежуточными (через 30 м) приводами. Это позволяет наращивать длину конвейера на поверхности до любой величины без изменения режима его работы. Поскольку передача тягового усилия передается от приводов на соединенные между собой накидные ролики и далее на охватные пояса, сама лента сможет состоять из отдельных жестко несвязанных между собой участков с возможностью монтировать новые участки внахлест. Это позволяет удлинять или укорачивать длину конвейера на любом его участке.

Несущие стержни конвейера в головной загрузочной части имеют форму, соответствующую перегрузке руды в условиях крутонаклонной выработки, и соединяются с породопогрузчиком. Отход забоя влечет за собой соответствующее перемещение погрузчика с проходческой техникой и, как следствие, буксировку конвейера, который через 12 м проходки наращивается на поверхности новым участком.

Такая конструкция имеет возможность изгибаться по фактической трассировке выработок в двух плоскостях. Тяговый канат навешан на специальные опорные ролики, надежно удерживающие канат как на прямых,

так и на криволинейных участках трассы.

В результате лента принимает в любом сечении каплеобразную форму и охватывает груз примерно на 270° . Провисание груженных участков ленты между подвесками при отсутствии концевых натяжных устройств исключается стальными полосами по краям ленты. Такое провисание недопустимо, поскольку дезорганизует ленту на порожней ветви. А вот сами подвески стягивают каплеобразную ленту по сечению и надежно защемяют сыпучий груз, полностью исключая просыпание груза, в том числе и на крутонаклонных участках трассы. При этом груз в сечении грузонесущего органа от погрузки до разгрузки на трассе находится в относительно неподвижном состоянии и поэтому не вызывает абразивного износа охватывающей его поверхности ленты, как это происходит на подленточных роликоопорных конвейерах. В зависимости от угла наклона, длины конвейерной трассы, а также скорости движения ленты и сечения грузопотока принимаются мощность и число приводов, рассредоточенных по длине конвейера.

Конвейер способен загружаться и разгружаться в любой точке трассы или одновременно во многих точках, при этом благодаря своей закрытой конструкции не допускает рассыпания и пыления материала, в том числе при интенсивном проветривании выработки. Конвейер имеет возможность свободно изгибаться в двух плоскостях и обслуживать разветвленные горные выработки или отсыпаемые площади на поверхности по кольцу, причем граничные положительные и отрицательные углы наклона конвейера могут достигать $30\text{--}35^\circ$. Он малочувствителен к налипанию или намораживанию материала на рабочей стороне ленты, поскольку обе ее поверхности конструктивно не контактируют с элементами движителя и направляющими, например натяжными и приводными барабанами, путе-

выми роликами и т.д., как в обычных конвейерах. Слой налипшего материала всегда размещается внутри грузонесущего органа, свернутого в трубу или в глубокий желоб, и по мере наращивания своей толщины и жесткости разрушается и разгружается с основной массой. Более того, налипший слой дополнительно защищает ленту от абразивного износа.

Конвейер может обеспечить высокопроизводительные и высокорентабельные циклично-поточный и поточный методы отработки. Конструкция конвейера не нуждается в подленточных роликах и концевых натяжных устройствах, что значительно повышает износостойкость обычной ленты на доставке абразивной горной массы. Конвейер не имеет проблем с налипанием глинистых материалов, поскольку грузовая поверхность всегда находится внутри трубы и налипшая масса отслаивается при взаимодействии с кусковым материалом. В настоящее время авторами на предпроектной стадии решена техническая задача привода, погрузки и разгрузки конвейера подвесной конструкции для протяженных подземных выработок.

Применительно к крутонаклонным выработкам, например на отработке наклонных слоевых панелей или на вскрывающей рудное тело конвейерной выработке (см. рис. 2), стоечную конструкцию крутонаклонного ленточного конвейера можно заменить на напольную конструкцию с гибкостержневым каркасом жесткости. Это диктуется сложностью забойного наращивания конвейера в условиях проходимой крутонаклонной выработки при непрерывном перемещении забойного погрузчика. Однако все требуемые свойства новой конструкции сохраняются. Требуемая производительность конвейера по техническим возможностям будет соизмерима с удельной выработкой проходческой техники. В подземном применении конвейер позволит вскрывать рудное тело крутонаклонными конвейерными стволами малого сечения. При

скорости движения ленты 1,5 м/с производительность конвейерной доставки составит порядка 150–180 м³/ч, максимальный угол наклона трассы равен $\pm 45^\circ$.

При наличии интенсивного дебета грунтовых вод предлагается вариант с применением пневмогидравлического трубопроводного конвейера в однотрубном исполнении с возможностью изгиба в соединении секций, оснащенного собственным воздушным гидроударным компрессором повышенного давления с электроразрядным приводом.

Транспортный комплекс (рис. 4) на месте перегрузки отбитой горной массы оборудован средствами вторичного дробления крупных кусков. Эти средства размещены над приемным опрокидным лотком. Разрушенные куски породы до фракции 50–80 мм загружаются из лотка в пневмокамеру с добавлением воды. Пневмокамера соединена с транспортным секционированным трубопроводом, у которого все трубы длиной 4–4,5 м соединены между собой специальными поворотными узлами.

Приводом транспортного комплекса является специальный одноцилиндровый компрессор. Причем цилиндр оснащается жестко связанной парой поршней. Между поршнями находится постоянно подкачиваемая вода, которая ударно сжимает атмосферный воздух и одновременно обеспечивает водяную смазку уплотнений поршней в цилиндре. Отсутствие смазочных масел обеспечивает одностадийный процесс сжатия атмосферного воздуха до высоких параметров по давлению и температуре. Привод компрессора от электроразрядного генератора с рабочим давлением водяного пара 100–120 МПа. Сжатый воздух поступает в заполненную породой и водой пневмокамеру, и по команде оператора производится выброс материала на расстояние, соответствующее используемому давлению сжатого воздуха [10].

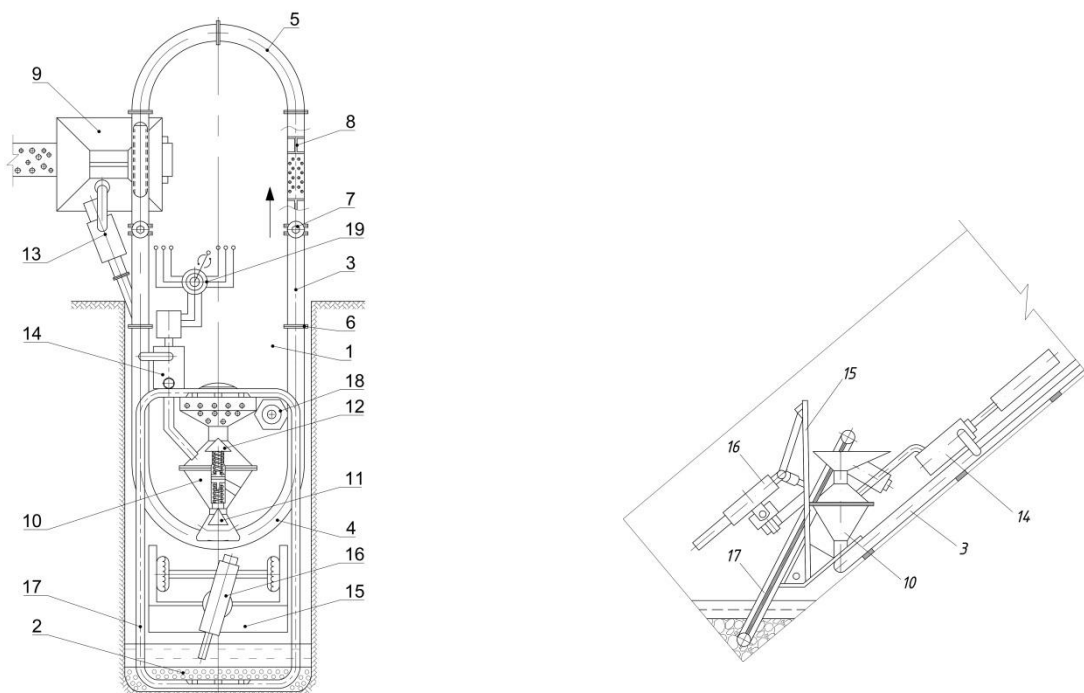


Рис. 4. Схема гидроимпульсной проходки крутонаклонной выработки с пневмогидравлической доставкой горной массы:

1 – крутонаклонная выработка в плане, или вертикальный ствол; 2 – затопленный забой; 3 – гидротранспортный трубопровод; 4 – нижняя часть гидротранспортного трубопровода; 5 – верхняя часть гидротранспортного трубопровода; 6 – ограничитель; 7 – затвор; 8 – свободно плавающие поршни-скребки; 9 – емкость для шламоочистки; 10 – приемно-вытеснительный аппарат; 11 – нижний клапан; 12 – верхний клапан; 13 – струйный насос; 14 – вытеснительный насос; 15 – щит проходческий; 16 – гидроимпульсная пушка; 17 – забойный перегружатель; 18 – цепной привод забойного перегружателя; 19 – реверсный переключатель вытеснительного насоса

Fig. 4. Steeply inclined working hydroimpulse driving process layout with airhydraulic transportation of rock mass:

1 – steeply inclined working in plan view, or vertical shaft; 2 – flooded face; 3 – hydrotransport pipeline; 4 – lower part of the hydrotransport pipeline; 5 – upper part of the hydrotransport pipeline; 6 – limiter; 7 – gate; 8 – free-floating piston-scrappers; 9 – sludge purification reservoir; 10 – reception-displacement apparatus; 11 – lower valve; 12 – upper valve; 13 – liquid-jet pump; 14 – positive-displacement pump; 15 – tunneling shield; 16 – hydroimpulsive rock breaking drill; 17 – face reloader; 18 – chain drive of the face reloader; 19 – reversing switching device of the positive-displacement pump

Для стабильной работы на большие расстояния предусматривается использование параллельного воздушного трубопровода, соединяющего участки транспортного трубопровода через обратные клапаны. Клапаны срабатывают при создании материальных пробок с повышением внутрисполостного давления. В результате давление воздуха на участке пробки резко повышается и производится его разблокировка.

К достоинствам такого конвейера относится то, что трубопровод может изгибаться в соответствии с трассами выработок, легко наращивается с помощью быстроразъемных фланцев и не задерживает проходческие ра-

боты. Можно применить трубы из любого износостойкого материала с гибкими патрубковыми соединениями своей конструкции.

Выводы

1. Применение предлагаемых конструкций рудничного транспорта совместно с новой добычной или проходческой техникой позволит в своей основе реализовать поточную систему функционирования горного предприятия.

2. Новая технологическая схема позволяет в определенной степени унифицировать горные работы, несмотря на многообразие горнотехнических и горно-геологических условий. Делает возможным обрабатывать ме-

сторожение в любом порядке и на всю высоту, причем подготовка отработки рудных тел осуществляется не более чем одним или двумя транспортными горизонтами.

3. Крутонаклонные конвейерные установки позволяют обеспечить вскрытие место-

рождений с использованием стволов меньшего сечения с подходом непосредственно к рудному телу, развивать систему наклонных или крутонаклонных панельных участков, вести их эффективную отработку со значительно меньшими капитальными затратами.

Библиографический список

1. *The Transport Needs of the Mining Industry*. Working group summary. Finnish Transportation Agency, HELSINKI; 2013. URL: www.liikennevirasto.fi.
2. Асанов А. А., Гуменников Е. С. Развитие объектов теплоэнергетики на основе инновационных технологии подземной переработки угля. *Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Разакова*. 2017;(4/44):43–47.
3. Haviland D., Marshall J. Fundamental behaviours of production traffic in underground mine haulage ramps. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2015;(25(1)):7–14. DOI: 10.1016/j.ijmst.2014.11.006.
4. Beaulieu M., Gamache M. An enumeration algorithm for solving the fleet management problem in underground mines. *Computers and Operations Research*. 2006;(33(6)):1606–1624. DOI: 10.1016/j.cor.2004.11.016.
5. Xu L., Ye S., Lu G., Zhang Z. Modeling and Simulation of the Underground Mining Transportation System. In: Lin S., Huang X. (eds.) *Advanced Research on Computer Education, Simulation and Modeling; CESM 2011; Communications in Computer and Information Science*. Springer, Berlin, Heidelberg. 2011;176.
6. Li Z. Foreign Simulation System Technology and Its New Application in Mining Development. *Journal of China Mining*. 1998;(7(2)):75–79.
7. Zhao W., Li Z. Simulation System Technology and Its New Progress in Mining. *Foreign Metal Mines*. 2000;(3):51–56.
8. Wagner H. Deep Mining: A Rock Engineering Challenge. *Rock Mechanics and Rock Engineering*. 2019;(52(5)):1417–1446. DOI: 10.1007/s00603-019-01799-4.
9. Бреннер В. А., Жабин А. Б., Пушкарев А. Е., Щеголевский М. М. *Гидромеханическое разрушение горных пород*. М.: Изд-во АГН; 2000. 343 с.
10. Маттис А.Р. и др. *Безвзрывные технологии добычи твердых полезных ископаемых*. Новосибирск: Из-во Сибирского отделения Российской академии наук; 2007.
11. Жалгасулы Н., Битимбаев М. Ж., Гуменников Е. С. Новая безвзрывная технология ведения горных работ. *Известия вузов. Горный журнал*. 2006;(2):10–14.
12. Bilgin N., Copur H., Balci C. *Mechanical excavation in mining and civil industries*. CRC Press; Taylor and Francis Group Boca Raton; 2013.
13. Li X.-B., Zhou J., Wang S.-F., Liu B. Review and practice of deep mining for solid mineral resources. *Zhongguo Youse Jinshu Xuebao. Chinese Journal of Nonferrous Metals*. 2017;(27(6)):1236–1262. DOI: 10.19476/j.ysxb.1004.0609.2017.06.021.
14. Xie H., Gao F., Ju Y. Research and development of rock mechanics in deep ground engineering. *Yanshilixue Yu Gongcheng Xuebao. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*. 2015;(34(11)):2161–2178. DOI: 10.13722/j.cnki.jrme.2015.1369.
15. Zhang Y., Deng J., Deng H., Ke B. Peridynamics simulation of rock fracturing under liquid carbon dioxide blasting. *International Journal of Damage Mechanics*. 2019;(28(7)):1038–1052. DOI: 10.1177/1056789518807532.
16. Vidanovic N., Ognjanovic S., Ilincic N., Ilic N., Tokalic R. Application of unconventional methods of underground premises construction in coal mines. *Technics Technologies Education Management*. 2011;(6(4)):861–865.
17. Summers D.A. *Water Jet Technology*. Oxford: Alden Press; 1993. 630 p.
18. Бреннер В. А., Жабин А. Б., Пушкарев А. Е. и др. Перспективы развития гидроструйных технологий в горнодобывающей промышленности и подземном строительстве. *Горные машины и автоматика*. 2002;(5):2–10.
19. Ciccu R. *Water jet in rock and mineral engineering*. Department of Mining and Minerals Engineering University of Cagliari. Cagliari, Italy; 2019.
20. Jiang H., Du C., Liu S., Gao K. Numerical analysis on damage field of rock fragmentation with water jet. *Zhongnan Daxue Xuebao (Ziran Kexue Ban). Journal of Central South University (Science and Technology)*. 2015;(46(1)):287–294. DOI: 10.11817/j.issn.1672-7207.2015.01.039.
21. Feng Y.-C., Xu Y.-J., Zhao F.-G. Experimental study on the breaking of rock by ultra-high pressure water jetting. *Gaoya Wuli Xuebao Chinese. Journal of High Pressure Physics*. 2005;(19(1)):66–70.

22. Li G., Liao H., Huang Z., Shen Z. Rock damage mechanisms under ultra-high pressure water jet impact. *Jixie Gongcheng Xuebao. Journal of Mechanical Engineering*. 2009;(45(10)):284–293. DOI: 10.3901/JME.2009.10.284.
23. Гуменников Е. С. Инновационный патент № 15996 «Пушка гидроударная»; Бюлл. № 7 от 15.07.2005.
24. Асанов А. А., Гуменников Е. С. Патент KG № 2128 «Гидроударное устройство»; Бюлл. № 2 от 28.02.2019.
25. Юницкий А.Э. Использование струнной транспортной системы в горной промышленности. *Сб. докл. X Межд. конф. «Технология, оборудование и сырьевая база горных предприятий промышленности строительных материалов»*. 2002.
26. Мулухов К. К. *Транспортные машины на горных предприятиях США*. М.: Недра; 1981.
27. Buyanov Yu. D., Barinova L. S., Butkevich G. R. String transporting system as the new kind of transport and prospects of its application and mining enterprises of the industry of construction materials. *Gornyi Zhurnal*. 2002;(7):76–79.

References

1. *The Transport Needs of the Mining Industry*. Working group summary. Finnish Transportation Agency, HELSINKI; 2013. URL: www.liikennevirasto.fi.
2. Asanov A. A., Gumennikov E. S. Development of heat power industry facilities based on innovative technologies of underground coal processing. *Bulletin of the Kyrgyz State Technical University named after I. Razakov*, 2017;(4/44):43–47. (In Russ.).
3. Haviland D., Marshall J. Fundamental behaviours of production traffic in underground mine haulage ramps. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2015;(25(1)):7–14. DOI: 10.1016/j.ijmst.2014.11.006.
4. Beaulieu M., Gamache M. An enumeration algorithm for solving the fleet management problem in underground mines. *Computers and Operations Research*. 2006;(33(6)):1606–1624. DOI: 10.1016/j.cor.2004.11.016.
5. Xu L., Ye S., Lu G., Zhang Z. Modeling and Simulation of the Underground Mining Transportation System. In: Lin S., Huang X. (eds.) *Advanced Research on Computer Education, Simulation and Modeling; CESM 2011; Communications in Computer and Information Science*. Springer, Berlin, Heidelberg. 2011;176.
6. Li Z. Foreign Simulation System Technology and Its New Application in Mining Development. *Journal of China Mining*. 1998;(7(2)):75–79.
7. Zhao W., Li Z. Simulation System Technology and Its New Progress in Mining. *Foreign Metal Mines*. 2000;(3):51–56.
8. Wagner H. Deep Mining: A Rock Engineering Challenge. *Rock Mechanics and Rock Engineering*. 2019;(52(5)):1417–1446. DOI: 10.1007/s00603-019-01799-4.
9. Brenner V. A., Zhabin A. B., Pushkarev A. E., Shchegolevsky M. M. *Hydromechanical rock breaking*. Moscow: AGN Publishing House; 2000. 343 p. (In Russ.).
10. Mattis et al. *Non-explosive technologies for mineral extraction*. Novosibirsk: Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences Publ.; 2007.
11. Zhalgasuly N., Bitimbaev M. Zh., Gumennikov E. S. New non-explosive mining technology. *News of universities. Mining Journal*. 2006;(2):10-14. (In Russ.).
12. Bilgin N., Copur H., Balci C. *Mechanical excavation in mining and civil industries*. CRC Press; Taylor and Francis Group Boca Raton; 2013.
13. Li X.-B., Zhou J., Wang S.-F., Liu B. Review and practice of deep mining for solid mineral resources. *Zhongguo Youse Jinshu Xuebao. Chinese Journal of Nonferrous Metals*. 2017;(27(6)):1236-1262. DOI: 10.19476/j.ysxb.1004.0609.2017.06.021.
14. Xie H., Gao F., Ju Y. Research and development of rock mechanics in deep ground engineering. *Yanshilixue Yu Gongcheng Xuebao. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*. 2015;(34(11)):2161-2178. DOI: 10.13722/j.cnki.jrme.2015.1369.
15. Zhang Y., Deng J., Deng H., Ke B. Peridynamics simulation of rock fracturing under liquid carbon dioxide blasting. *International Journal of Damage Mechanics*. 2019;(28(7)):1038–1052. DOI: 10.1177/1056789518807532.
16. Vidanovic N., Ognjanovic S., Ilincic N., Ilic N., Tokalic R. Application of unconventional methods of underground premises construction in coal mines. *Technics Technologies Education Management*. 2011;(6(4)):861-865.
17. Summers D.A. *Water Jet Technology*. Oxford: Alden Press; 1993. 630 p.
18. Brenner V. A., Zhabin A. B., Pushkarev A. E. et al. Prospects for development of hydro-jet technologies in mining industry and underground construction. *Mining Machines and Automation*. 2002;(5):2-10. (In Russ.).
19. Ciccu R. *Water jet in rock and mineral engineering*. Department of Mining and Minerals Engineering University of Cagliari. Cagliari, Italy; 2019.



20. Jiang H., Du C., Liu S., Gao K. Numerical analysis on damage field of rock fragmentation with water jet. *Zhongnan Daxue Xuebao (Ziran Kexue Ban). Journal of Central South University (Science and Technology)*. 2015;(46(1)):287-294. DOI: 10.11817/j.issn.1672-7207.2015.01.039.
21. Feng Y.-C., Xu Y.-J., Zhao F.-G. Experimental study on the breaking of rock by ultra-high pressure water jetting. *Gaoya Wuli Xuebao Chinese. Journal of High Pressure Physics*. 2005;(19(1)):66–70.
22. Li G., Liao H., Huang Z., Shen Z. Rock damage mechanisms under ultra-high pressure water jet impact. *Jixie Gongcheng Xuebao. Journal of Mechanical Engineering*. 2009;(45(10)):284–293. DOI: 10.3901/JME.2009.10.284.
23. Gumennikov E. S. Hydraulic hammer facility. Innovative Patent No. 15996, Bulletin No. 7, July 15, 2005. (In Russ.).
24. Asanov A. A., Gumennikov E. S. Hydraulic hammer facility. Patent KG No. 2128, Bulletin No .2, 02.28.2019. (In Russ.).
25. Yunitsky A. E. The use of string transport system in mining industry. *Proceedings of X Int. Conf. "Technology, equipment and resource base of mining enterprises of building materials industry."* 2002. (In Russ.).
26. Mulukhov K. K. Materials handling machinery at US mining. Moscow: Nedra Publ.; 1981. (In Russ.).
27. Buyanov Yu. D., Barinova L. S., Butkevich G. R. String transporting system as the new kind of transport and prospects of its application and mining enterprises of the industry of construction materials. *Mining Journal*. 2002;(7):76–79. (In Russ.).

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ / ORIGINAL PAPERS

DOI: 10.17073/2500-0632-2019-4-273-281

Метод определения источника россыпного золота**Владимирцева О. В.**

Российский государственный геологоразведочный университет
им. Серго Орджоникидзе (МГРИ), Москва, Россия

Аннотация: Вещественные характеристики золота россыпных объектов и геолого-геоморфологические особенности россыпесодержащих водотоков позволяют судить о типе источника, сформировавшего россыпь. Исследуемый район (среднее течение реки Адыча, Верхоянский район, Якутия) характеризуется сильно развитой россыпной золотоносностью как древних террасовых отложений, так и водотоков низких порядков. Значительная золотоносность водотоков низких порядков при единичных месторождениях золота предполагает наличие еще не известных коренных скоплений золота. Определение типа источников россыпей молодых водотоков (I и II порядков) позволяет строить прогнозно-поисковые модели как для потенциально россыпных, так и для рудных объектов. Цель исследования заключается в составлении логико-информационного алгоритма, который на основе наиболее значимых вещественных и геолого-геоморфологических факторов позволит не только определить тип источника россыпи, но и вероятность его локализации и продолжающегося сноса металла. Результатом исследования стала программа (язык программирования Python), характеризующая тип источника россыпи на основе окатанности золотин, наличия сростков золота с другими минералами и представленности тяжелой фракции. Оценка вероятности локализации источника россыпи основывается на геолого-геоморфологических факторах: порядок водотока, тип россыпи, пространственная связь с террасами древних эрозионных уровней. При исследовании известных россыпных объектов на созданной программе выявлены россыпи с предположительно коренным источником и источником в виде промежуточного коллектора. Также составлена карта экзогенной золотоносности с элементами прогноза: площадями, перспективными на выявление коренных скоплений золота (области распространения водотоков низких порядков с рудным источником) и водотоками низких порядков, перспективными для выявления россыпных объектов (выделены по принципу аналогии по геолого-геоморфологической позиции с известными водотоками с источником в виде промежуточного коллектора).

Ключевые слова: золото, россыпи, Адыча, прогноз, алгоритм, окатанность золота.

Для цитирования: Владимирцева О. В. Метод определения источника россыпного золота. *Горные науки и технологии*. 2019;4(4):273-281. DOI: 10.17073/2500-0632-2019-4-273-281.

Method for Revealing Placer Gold Source**O. V. Vladimirtseva**

Russian State Geological Exploration University named after Sergo Ordzhonikidze, Moscow, Russia

Abstract: Material characteristics of placer gold and geological and geomorphological features of placer-containing watercourses allow revealing the type of source that formed the placer. The studied area (the middle reach of the Adycha River, Verkhoyansk District, Yakutia) is characterized by highly developed placer gold mineralization both in ancient terrace sediments and high-order watercourses. The significant placer gold mineralization in the high-order watercourses, at very limited number of known bedrock gold deposits suggests the presence of not yet discovered bedrock gold mineralization. Revealing the type of sources of placer gold in young high-order watercourses allows to create prognostic and prospecting models for both potential placer and primary (vein) ore occurrences. The purpose of the study is to compile a logical-information algorithm, which, based on the most significant material and geological-geomorphological factors, will enable revealing the type of placer gold source and the possibility of its location discovery and probability of gold transportation continuation from the source. The study result is presented by a program (the Python programming language) that characterizes the type of placer gold source based on gold grain rounding degree, the presence of gold intergrowths with other minerals and the presence of heavy fraction. Assessment of the possibility of placer gold source location determination is based on geological and geomorphological factors: watercourse order, the type of placer, and spatial association with terraces of ancient erosion levels. The study of well-known gold placers using the created program allowed revealing gold placers



with supposedly primary gold source and other ones with the source in the form of a natural intermediate gold concentrator. A map of exogenous gold mineralization with forecast elements was also created, presenting areas promising for revealing primary gold mineralization (areas of presence of high-order watercourses with gold mineralization source) and areas of high-order watercourses promising for discovering gold placers (identified by analogy (in geological and geomorphological position) with watercourses with the known source in the form of natural intermediate gold concentrator).

Keywords: gold, placers, Adycha, forecast, algorithm, gold grain rounding degree.

For citation: Vladimirtseva O. V. Method for revealing placer gold source. *Gornye nauki i tekhnologii = Mining Science and Technology (Russia)*. 2019;4(4):273-281. (In Russ.). DOI: 10.17073/2500-0632-2019-4-273-281.

Введение

Определение источников россыпей – важная практическая и научная задача, которая открывает возможность прогнозирования месторождений и прироста ресурсов как коренного, так и россыпного золота [1]. Для диагностики вероятного источника россыпи следует руководствоваться, прежде всего, данными, указывающими на условия ее формирования.

Цель работы заключается в составлении интерактивной логико-информационной программы, позволяющей определить тип источника россыпей низких порядков (согласно классификации Н.А. Ржаницына, 1952 г.) района среднего течения реки Адыча (Верхоянский район, Якутия).

Задачи:

- исследование грануломорфологических особенностей золотин водотоков низких порядков района;

- выявление критериев среди геолого-геоморфологических и вещественных факторов, наиболее влияющих на предполагаемый тип источника россыпного объекта;

- составление логико-информационного алгоритма, определяющего вероятный тип источника россыпи, вероятность продолжающегося сноса, а также возможность определения местонахождения источника.

В Адыча-Тарынской минерагенической зоне, занимающей среднюю часть долины р. Адыча, на государственном балансе числится порядка 40 россыпных объектов. Суммарные

запасы россыпного золота по категориям C_1+C_2 составляют более 30 т. По геоморфологической позиции россыпи разделяются на две группы: террасовые, приуроченные к отложениям террасы III эрозионного уровня р. Адыча (80 % запасов), и россыпи водотоков 1–4-го порядков. Прирост ресурсов россыпного золота в исследуемом районе возможен в том числе и за счет выявления новых россыпей водотоков низких порядков.

Источником золотых россыпей могут выступать как рудные скопления металла, так и его промежуточные аккумуляции. В качестве рудного источника россыпных образований в исследуемом районе выступают рудные месторождения, рудопроявления и пункты минерализации двух рудных формаций: золото-кварц-малосульфидной и золотосурьмяной. В качестве промежуточного коллектора могут выступать отложения зон окисления; древние россыпные образования; коры выветривания. В районе среднего течения реки Адыча на сегодняшний день не было установлено россыпей с источниками в виде промежуточных коллекторов. Однако наличие россыпей с хорошо окатанным золотом при фактически полном отсутствии тяжелой фракции подразумевает возможность наличия промежуточных аккумуляций, продуктивных на россыпное золото [1, 2, 4–6, 8].

Россыпи с коренным источником

В среднем течении реки Адыча россыпи, для которых предполагаются коренные источники, подразделяются на русловые – водотоков 1–4-го порядков, террасовые – россыпи

ранних циклов развития речных долин и элювиально-делювиальные. В исследуемом районе известно два мелких, на данный момент не освоенных месторождения (Лазо и Соревнование) и 38 рудопоявлений золота. Известно, что золото, поступившее в россыпь непосредственно из коренного источника, обладает характерными особенностями, определяемыми рудным объектом.

1. Слабая степень окатанности золотин, которая обусловлена близким расположением россыпи от коренного источника, как правило до 10 км. Часто такие золотины называют «субрудными».

2. Наличие сростков золота с минералами. Безусловно, минеральный состав руд на каждом коренном объекте уникален. Для большинства месторождений золота характерно наличие минералов-спутников, с которыми золото зачастую образует сростки (например, галенит, пирит, сфалерит и пр. сульфиды; кварц).

3. Тяжелая шлиховая фракция в таких россыпях представлена минералами, присутствующими в коренном источнике (галенит, магнетит, пирит и пр.).

Россыпи с источником в виде промежуточного коллектора

В качестве промежуточного коллектора в районе среднего течения реки Адыча могут выступать отложения древних террас [10]. Золото, поступившее в россыпь из промежуточного коллектора, обладает характерными особенностями.

1. Золото имеет среднюю и высокую степень окатанности в силу многоэтапности и длительности процесса переноса материала. Отсутствуют «субрудное» золото.

2. Отсутствуют сростки золота с минералами на поверхности золотин. Контрастные физико-химические условия формирования таких россыпей обеспечивают разрушение минералов, находящихся в сростании с золотом. Однако микровключения минералов могут сохраниться внутри золотин (галенит, пирит, магнетит, кварц и пр.).

3. Существенно разная пробность золота и его различный химический состав также могут указывать на поступление металла из промежуточного коллектора, источника комбинированного типа, нескольких источников, с различных эрозионных уровней рудного источника.

Примечательно, что минералы тяжелой фракции могут быть представлены весьма ограниченно, а могут и вовсе отсутствовать, что обусловлено неоднократным переотложением рыхлого материала, в процессе которого минералы, обладающие плотностью ниже, чем у золота, выносились.

Признаки, позволяющие отнести россыпь россыпи водотоков водотоков низких порядков низких порядков в районе среднего течения реки Адыча к тому или иному типу источника, можно разделить на две группы: вещественные и геолого-геоморфологические. Разработан логико-информационный алгоритм систематики россыпного золота относительно типа источника золотин.

Вещественные особенности россыпного золота. Анализ вещественных признаков позволяет не только определить вероятный тип источника, но и сделать предположения о количестве источников. Несмотря на обилие вещественных характеристик золотин (класс крупности, окатанность, пробность, уплощенность, наличие сростков золота с другими минералами, равномерность распределения пробности и пр. [3, 9]), наиболее значимыми критериями для определения типа источника россыпного золота являются следующие характеристики: окатанность золота, наличие сростков золота с другими минералами, наличие или отсутствие тяжелой фракции.

Окатанность золотин. Степень окатанности золотин является наиболее значимым вещественным признаком для различных по типам источника россыпей водотоков низких порядков среднего течения р. Адыча.

Таблица 1

Анализ окатанности золотин
Analysis of gold grain rounding degree

Степень окатанности золотин по пятибалльной полуколичественной шкале					Наиболее вероятный тип источника россыпи
1	2	3	4	5	
Степень окатанности золотин по трехбалльной полуколичественной шкале					
1	2	3			
Наиболее частая степень окатанности	< 5 %	< 5 %			Рудный
	> 5 %	< 5 %			
	< 5 %	> 5 %			Несколько источников различного типа
	> 5 %	> 5 %			
< 5 %	< 5 %	Наиболее частая степень окатанности			Промежуточный коллектор
< 5 %	> 5 %				Несколько источников различного типа
> 5 %	< 5 %				
> 5 %	> 5 %				
> 5 %	Наиболее частая степень окатанности	< 5 %			Рудный
< 5 %		> 5 %			Промежуточный коллектор
> 5 %		> 5 %			Комбинированный / несколько
< 5 %		< 5 %			Вероятный тип источника не определим

Для определения степени окатанности золотин россыпи необходимо определить по полуколичественной пятибалльной шкале окатанность каждой золотины [9]. Затем с целью установления равномерности распределения окатанности золотин следует перевести полученные результаты в трехбалльную полуколичественную шкалу. Далее необходимо оценить распространенность каждого класса окатанности. Для этого рассчитывается процентное соотношение каждого класса в выборке. Затем полученные данные сравниваются между собой по предложенной таблице (Табл. 1), и делается предварительный вывод о типе источника россыпи.

Перевод данных об окатанности из пятибалльной в трехбалльную полуколичественную шкалу обусловлен двумя причинами. Первая – фактически исключается человеческий фактор при оценке степени окатанности золота. Даже если исследователь не смог различить окатанность «4» и окатанность «5» по пятибалльной шкале, в трехбалльной шкале значение окатанности будет соответствовать

«3» – хорошо окатанное золото. Вторая причина – простота пересчета распределения окатанности золотин в выборке исходя из трех возможных значений и дальнейшего их сравнения между собой.

Наличие сростков золота с другими минералами. В зависимости от ожидаемой рудной формации предполагаемого коренного источника определяется вероятный набор минералов, которые могут находиться в сростании с золотом. Для района среднего течения р. Адыча это пирит, галенит и пр. сульфиды, кварц. Очевидно, даже в условиях гипергенеза микровключения минералов могут сохраниться внутри золотины, однако на поверхности золотины эти минералы разрушаются. Безусловно, далеко не все золотины россыпей коренных источников сохранили сростки с другими минералами. Чем больше выборка золотин, тем достовернее результат. Для оценки данного параметра необходимо рассчитать процентное количество золотин со сростками с минералами. Выделяется два вероятных результата: сростки с минералами составляют менее 5 % и сростки с минералами составляют

более 5 %. В случае если по результатам анализа окатанности золота предполагаемый источник – рудное скопление металла, отсутствие сростков золота с другими минералами не является опровержением полученного вывода, а лишь отражает либо непредставительность выборки (в случае если было исследовано менее 50 золотин), либо особенности самого источника. Если по результатам анализа окатанности золота предполагаемый источник – промежуточный коллектор, наличие сростков золота с другими минералами (более 5 %) либо ставит под сомнение выявленный тип источника, либо предполагает наличие дополнительного источника россыпи.

Присутствие тяжелой фракции. Наличие или отсутствие тяжелой фракции в россыпи главным образом зависит от распространенности минералов тяжелой фракции в рудах и породах коренного источника. Однако для россыпей с источником в виде промежуточного коллектора зачастую характерна незначительная тяжелая фракция, что обусловлено неоднократным переотложением материала.

Качественно-количественная оценка данного параметра весьма затруднительна, поэтому выбор будет представлен двумя вариантами: минералы тяжелой фракции отсутствуют и минералы тяжелой фракции представлены явно. Для Адыча-Тарынской минералогической зоны характерно распространение двух золоторудных формаций: золото-кварц-малосульфидной (рудные минералы: арсенопирит, халькопирит, галенит, шеелит, касситерит, минералы висмута, рутил) и золото-сурьмяной (минеральный состав руд месторождения Сентачан: антимонит, кварц, пирит, арсенопирит, самородная сурьма, сфалерит, магнетит, лимонит, аргентит и пр.).

Геолого-геоморфологические характеристики россыпных объектов. Данная группа признаков позволяет судить о вероятности обнаружения предполагаемого источника россыпи.

Порядок водотока. Чем ниже порядок водотока, включающего в себя россыпь, тем выше достоверность суждений о природе его

источника. Так, материал россыпей водотоков первого порядка проделал наименьший путь от источника до своего нынешнего положения. С повышением порядка водотока возрастает количество путей вероятного перемещения материала и увеличивается площадь локализации возможного источника.

Тип россыпи. Россыпи водотоков 1–2-го порядков среднего течения реки Адыча разделяются по типу на ложковые, русловые, террасовые, долинные. Террасовые и долинные россыпи связаны с ранними этапами развития долины водотока [7], русловые россыпи – с более поздними, ложковые – с современными процессами. Чем моложе россыпь, тем выше вероятность обнаружения вероятного источника.

Результаты

Таким образом, заключение о типе источника россыпи строится на основании результатов анализа группы вещественных факторов. Вероятность локализации источника россыпи открывается при анализе группы геолого-геоморфологических факторов (рис. 1).

На основе представленных информационно-логических схем (см. табл. 1 и рис. 1) делается возможным не только определение типа источника россыпи, но и их количества, а также оценивается возможность обнаружения источника россыпи, что в свою очередь может привести к приросту сырьевой базы исследуемого района.

На основе данного подхода разработана интерактивная программа (язык программирования – Python), позволяющая оперативно проанализировать отдельно взятый водоток (рис. 2).

От оператора требуется ввести степень окатанности золотин, отметить золотины со сростками с другими минералами, оценить представленность тяжелой фракции, указать порядок исследуемого водотока и тип россыпи. Для россыпных образований с предполагаемым источником в виде промежуточного коллектора вводится дополнительный критерий – «Пространственная связь с террасами

древних эрозионных уровней». Пересчет степени окатанности из полуколичественной пятибалльной в трехбалльную шкалу производится автоматически.

Результат работы программы – выводы о типе источника россыпи исследуемого водотока, вероятности продолжающегося сноса и вероятности локализации источника (рис. 3). В настоящее время данная программа апробирована автором на 21 ручье в районе среднего

течения р. Адыча. Построена схема распределения россыпей водотоков низких порядков с выделенными перспективными на обнаружение коренного скопления золота площадями, а также водотоками, промышленная значимость которых не установлена, однако и не исключается в силу геолого-геоморфологических предпосылок образования россыпных объектов, в том числе пространственной связи с остатками террас I, II, III эрозионных уровней (рис. 4).

Вывод о типе источника по окатанности	Порядок водотока	Геолого-геоморфологические факторы		Вещественные факторы			Выводы										
		Тип россыпи	Наличие эрозионных останцов древних	Наличие сростков с минералами	Представленность тяжелой фракции		Вероятность продолжающегося сноса	Вероятность обнаружения источника									
					Вывод	Вывод											
Промежуточный коллектор	1	ложковая	I	В случае наличия менее 5% золота со сростками минералов, можно говорить о том, что предполагаемый тип источника (промежуточный коллектор) - подтверждается, в противном случае этот факт свидетельствует о вероятном наличии дополнительного источника иного типа (рудного)	отсутствует	подтверждается	широко	не опровергается	высокая	средняя							
			II/III							высокая							
			нет							средняя							
		русовая	I							средняя							
			II/III							высокая							
			нет							средняя							
	2	русовая	I						для оценки следует изучить водоток I порядка	средняя							
			II/III								высокая						
			нет								средняя						
		террасовая	I								средняя						
			II/III									высокая					
			нет									средняя					
долинная	I	средняя															
	II/III		высокая														
	нет		средняя														
Рудный	1		ложковая	I	Наличие сростков с минералами обусловлено удаленностью от коренного источника россыпи	отсутствует	не опровергается	широко	подтверждается	высокая	высокая						
				II/III							высокая						
				нет							высокая						
		русовая	I	>5%							высокая	средняя					
			II/III	<5%								высокая					
			нет	>5%								средняя					
	I		<5%	высокая													
	II/III		>5%	средняя													
	нет		<5%	высокая													
	2	террасовая	I	>5%						для оценки следует изучить водоток I порядка	средняя						
			II/III	<5%								средняя					
			нет	>5%													
		долинная	I	<5%									средняя				
			II/III	>5%													
			нет	<5%													
	Несколько источников различных типов	1	ложковая	I						В случае наличия нескольких источников различного типа, вещественные характеристики золота следует рассматривать отдельно для источника золота в виде промежуточного коллектора (для золотин с высокой степенью окатанности) и отдельно для источника рудного типа (золотины низкой степени окатанности). Вероятность обнаружения источника обосновывается исключительно на основе геолого-геоморфологических критериев (тип россыпи и порядок водотока).	отсутствует			не опровергается	широко	подтверждается	высокая
				II/III								высокая					
				нет								средняя					
			русовая	I								высокая					
				II/III								низкая					
				нет								низкая					
		2	террасовая	I								для оценки следует изучить водоток I порядка	низкая				
				II/III													низкая
				нет													
долинная			I	низкая													
			II/III														
			нет														

Рис. 1. Логико-информационная таблица

Fig. 1. Logical-information table

Определение типа источника

Группа вещественных факторов

№ Золотин	Пятибальная шкала окатанности	Наличие сростков с минералами
42	4	<input type="checkbox"/>
43	4	<input type="checkbox"/>
44	4	<input type="checkbox"/>
45	4	<input type="checkbox"/>
46	4	<input type="checkbox"/>
47	5	<input type="checkbox"/>
48	5	<input type="checkbox"/>
49	5	<input type="checkbox"/>
50	5	<input type="checkbox"/>
51	4	<input type="checkbox"/>
52	4	<input type="checkbox"/>
53	4	<input type="checkbox"/>
54	4	<input type="checkbox"/>
55	4	<input type="checkbox"/>

Представленность тяжелой фракции:

Группа геолого-геоморфологических факторов

Порядок водотока:

Тип россыпи:

Пространственная связь с террасами древних эрозионных уровней:

Группа вещественных. Позволяет определить вероятный тип источника и достоверность полученного результата.

Группа геолого-геоморфологических признаков. Позволяет определить возможность локализации источника, а также оценить вероятность продолжающегося сноса.

В случае установления наличия нескольких источников различного типа, оценивается возможность

Рис. 2. Определение вероятного типа источника для техногенной россыпи руч. Снежный

Fig. 2. Revealing the likely type of gold source for technogenic placer of Snezhny creek

Определение типа источника

Выводы

Достоверность выборки:

Тип источника:

Вероятность продолжающегося сноса золота:

Вероятность локализации источника:

Подтверждение вывода на основании представленности тяжелой фракции:

Подтверждение вывода на основании наличия сростков золота с минералами:

Рис. 3. Результаты, выдаваемые программой

Fig. 3. The program findings

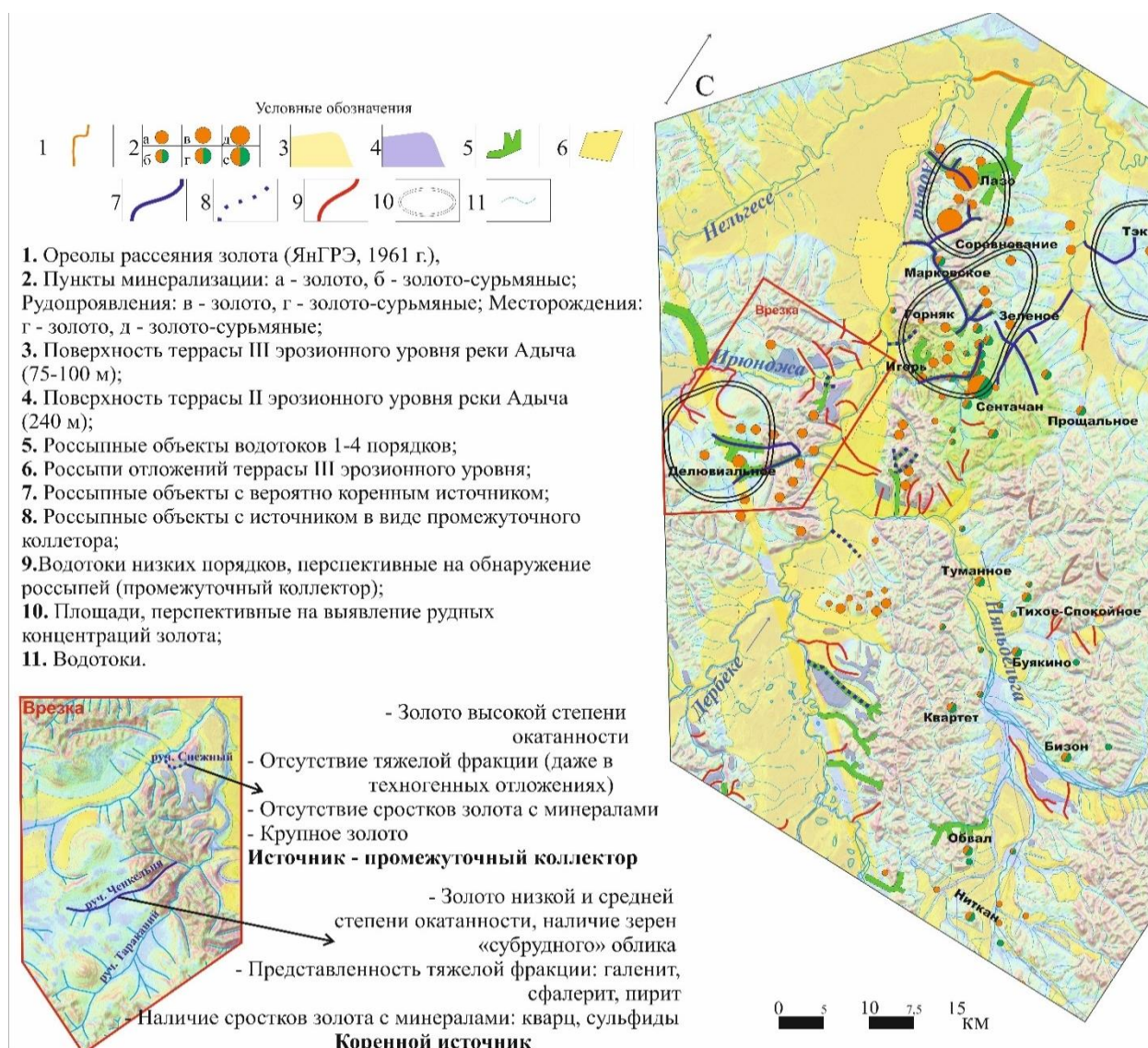


Рис. 4. Фрагмент карты золотоносности района среднего течения реки Адыча с элементами прогноза

Fig. 4. Fragment of gold mineralization map of the Adycha River middle reach area with forecast elements



Выводы

Разработанный программный продукт позволяет определить тип источника россыпи и возможность определения его местонахождения на основе морфологического анализа золотин, характеристик тяжелой шлиховой фракции и группы геолого-геоморфологических признаков россыпесодержащих водотоков. Несомненно, факторов, влияющих на россыпеобразование значительно больше, чем шесть исследованных. Однако именно эти критерии явля-

ются наиболее значимыми при решении поставленной задачи, а именно определения типа источника россыпи и возможности определения его местонахождения. Комплексное исследование различных вещественных и геолого-геоморфологических факторов россыпных образований позволяет не только оценивать промышленный потенциал водотоков, но и составлять прогнозно-поисковые модели экзогенной золотосности, что в свою очередь способствует открытию новых россыпных объектов.

Библиографический список

1. Chapman R. J., Mortensen J. K. *Characterization of placer- and lode-gold grains as an exploration tool in east-central British Columbia*. (Parts of NTS 093A, B, G, H). Geoscience BC Summary of Activities 2010; Geoscience BC. Report 2011-1. P. 109-122.
2. Brown J., Yin J. Technical Report on the 2000-2008 *Exploration Programs on the Golden Cariboo Project Wells, British Columbia*. Cariboo Mining Division Technical Report. 2009.
3. Chapman R. J., Mortensen J. K. Application of microchemical characterization of placer gold grains to exploration for epithermal gold mineralization in regions of poor exposure. *J. Geochem. Explor.* 2006;91(1-3):1-26. DOI: 10.1016/j.gexplo.2005.12.004.
4. Jenkin G. R. T., Lusty P. A. J., McDonald I., Smith M. P., Boyce A. J., Wilkinson J. J. *Ore deposits in an evolving Earth: an introduction*. Geological Society Special Publication, 2015;393(1):1-8. DOI: 10.1144/SP393.14
5. Smith D., Jenkin G., Naden J. Finding Solomon's gold? *Planet Earth, Spring*; 2010. P. 10-11.
6. Chapman R. J., Mortensen J. K. Application of microchemical characterization of placer gold grains to exploration for epithermal gold mineralization in regions of poor exposure. *J. Geochem. Explor.* 2006;91(1-3):1-26.
7. Duk-Rodkin A., Barendregt R. W., White J. M., Singhroy V. H. Geologic evolution of the Yukon River: implications for placer gold. *Quat. Int.* 2001;82(1):5-31.
8. Goryachev N., Pirajno F. Gold deposits and gold metallogeny of Far East Russia. *Ore Geol.* 2014;59:123-151.
9. *Методика разведки россыпей золота и платиноидов*. М.: ЦНИГРИ; 1992. С. 144-146
10. Владимирцева О. В. О вероятном источнике аллювиальных россыпей золота руч. Куранах и Снежный (Верхоянский район, Якутия). *Разведка и охрана недр*. 2019;(6):10-14.

References

1. Chapman R. J., Mortensen J. K. *Characterization of placer- and lode-gold grains as an exploration tool in east-central British Columbia*. (Parts of NTS 093A, B, G, H). Geoscience BC Summary of Activities 2010; Geoscience BC. Report 2011-1. P. 109-122.
2. Brown J., Yin J. Technical Report on the 2000-2008 *Exploration Programs on the Golden Cariboo Project Wells, British Columbia*. Cariboo Mining Division Technical Report. 2009.
3. Chapman R. J., Mortensen J. K. Application of microchemical characterization of placer gold grains to exploration for epithermal gold mineralization in regions of poor exposure. *J. Geochem. Explor.* 2006;91(1-3):1-26. DOI: 10.1016/j.gexplo.2005.12.004.
4. Jenkin G. R. T., Lusty P. A. J., McDonald I., Smith M. P., Boyce A. J., Wilkinson J. J. *Ore deposits in an evolving Earth: an introduction*. Geological Society Special Publication, 2015;393(1):1-8. DOI: 10.1144/SP393.14
5. Smith D., Jenkin G., Naden J. Finding Solomon's gold? *Planet Earth, Spring*; 2010. P. 10-11.
6. Chapman R. J., Mortensen J. K. Application of microchemical characterization of placer gold grains to exploration for epithermal gold mineralization in regions of poor exposure. *J. Geochem. Explor.* 2006;91(1-3):1-26.
7. Duk-Rodkin A., Barendregt R. W., White J. M., Singhroy V. H. Geologic evolution of the Yukon River: implications for placer gold. *Quat. Int.* 2001;82(1):5-31.
8. Goryachev N., Pirajno F. Gold deposits and gold metallogeny of Far East Russia. *Ore Geol.* 2014;59:123-151.



9. Techniques of gold and platinoid placer exploration. Moscow: TSNIGRI; 1992. P. 144–146. (In Russ.).
10. Vladimirtseva O. V. On the probable source of alluvial gold in Kuranakh and Snezhny creeks (Verkhoyansk district, Yakutia). *Exploration and subsoil protection*. 2019;(6):10–14. (In Russ.).

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ / ORIGINAL PAPERS

DOI: 10.17073/2500-0632-2019-4-282-291

Геохимическая аномалия кобальта и никеля на площади Черногорского месторождения ювелирного скаполита, Центральный Памир (Таджикистан)

Одинаев Ш. А.¹, Литвиненко А. К.¹, Верчеба А. А.¹, Ятимов У. А.²¹Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе, Москва, Россия²Институт минералогии Южно-Уральского федерального научного центра минералогии и геоэкологии УрО РАН, Миасс, Россия

Аннотация: Черногорское месторождение ювелирного скаполита расположено в восточной части тектонической зоны Центрального Памира (восточная часть Республики Таджикистан). На территории месторождения площадью более 55 000 м² выявлена геохимическая аномалия кобальта и никеля. Металлы входят в состав всех минералов, которые на 95% представлены нерудными: оливин, энстатит, роговая обманка, флогопит, кальцит, доломит, плагиоклаз, скаполит, калишпат, нефелин и содалит. В составе рудных минералов установлены ильменит, титанит, рутил, магнетит, гематит, пентландит, пирротин и пирит. Содержание кобальта более чем в 20 раз выше кларка, никеля – в 10 раз. Рекомендуется Министерству геологии и Министерству промышленности Республики Таджикистан проведение поисково-оценочных работ для оценки прогнозного ресурсного потенциала указанных элементов. Это позволяет рассматривать горные породы данного месторождения (гарцбургиты, амфиболиты и альбититы) как кобальто-никелевую геохимическую аномалию. В ее границах требуется проведение специализированных поисково-оценочных работ. Данное месторождение из ранга мономинерального может перейти в разряд комплексного полиминерального и полиметалльного объекта. Это значительно повысит его инвестиционную привлекательность и рентабельность.

Ключевые слова: Центральный Памир, месторождение ювелирного скаполита Черногорское, геохимическая аномалия Co-Ni, содержание рудных элементов, геохимический потенциал, рекомендации по освоению месторождения.

Для цитирования: Одинаев Ш. А., Литвиненко А. К., Верчеба А. А., Ятимов У. А. Геохимическая аномалия кобальта и никеля на площади Черногорского месторождения ювелирного скаполита, Центральный Памир (Таджикистан). *Горные науки и технологии*. 2019;4(4):282-291. DOI: 10.17073/2500-0632-2019-4-282-291.

Geochemical Anomaly of Cobalt and Nickel in the Area of Chernogorsky Jewelry Scapolite Deposit, Central Pamir (Tajikistan)

Sh. A. Odinaev¹, A. K. Litvinenko¹, A. A. Vercheba¹, U. A. Yatimov²¹Russian State Geological Exploration University named after Sergo Ordzhonikidze, Moscow, Russia²Institute of Mineralogy, South Ural Federal Scientific Center, RAS UB, Miass, Russia

Abstract: The Chernogorsky jewelry scapolite deposit is located in the eastern part of the Central Pamir tectonic zone (the eastern part of the Republic of Tajikistan). A geochemical anomaly of cobalt and nickel of more than 55,000 m² was identified in the territory of the deposit. Within the anomaly, the metals were detected in all minerals, 95% of which belong to non-metallic minerals: olivine, enstatite, hornblende, phlogopite, calcite, dolomite, plagioclase, scapolite, potassium feldspar, nepheline, and sodalite. The deposit ore minerals comprise ilmenite, titanite, rutile, magnetite, hematite, pentlandite, pyrrhotite, and pyrite. The cobalt content is more than 20 times higher than its crustal abundance, and that of nickel is 10 times above its crustal abundance. It is recommended that the Ministry of Geology and the Ministry of Industry of the Republic of Tajikistan conduct the prospect evaluation to assess the prognostic resource potential for these elements. This allows to consider the deposit rocks (harzburgite, amphibolite and albitite) as cobalt-nickel geochemical anomaly. This anomaly should be the subject of greenfield exploration for the elements. The deposit monomineral category may change to complex polymineral and polymetal category. This will significantly increase its investment attractiveness and economic feasibility.



Keywords: Central Pamir, Chernogorsky jewelry scapolite deposit, Co-Ni geochemical anomaly, ore element grade, geochemical potential, recommendations for deposit development.

For citation: Odinaev Sh. A., Litvinenko A. K., Vercheba A. A., Yatimov U. A Geochemical anomaly of cobalt and nickel in the area of Chernogorsky jewelry scapolite deposit, Central Pamir (Tajikistan). *Gornye nauki i tekhnologii = Mining Science and Technology (Russia)*. 2019;4(4):282-291. (In Russ.). DOI: 10.17073/2500-0632-2019-4-282-291.

Введение

Черногорское месторождение расположено в восточной части тектонической зоны Центрального Памира на крайнем востоке Республики Таджикистан [1–4]. Современные представления о тектоническом развитии региона рассмотрены в многочисленных публикациях [5–7].

Неравномерное распределение ювелирной скаполитовой минерализации, резкие колебания качественных характеристик самоцвета, большие объемы «пустых» пород позволили отнести его к 4-й группе сложности. Вблизи него, в 3 км к югу, находится крупное месторождение рубина Снежное. В его залежах наблюдаются крупные кристаллы белого и черного скаполита до 8 см длины низкого ювелирного качества. Его геологическое строение, минералогия рубина и скаполита, а также генетические связи с Черногорским месторождением рассмотрены в [7–9].

Минералогические и генетические особенности скаполитовой минерализации рассматриваемого района приведены в публикациях [7, 10–12].

Методы и цель исследования

Минеральный состав определялся на петрографическом микроскопе Полам-P211 (А.К. Литвиненко, Ш.А. Одинаев) и завершался рентгенофазовым анализом на приборе ДРОН-3М (аналитик А.В. Федоров, МГРИ). Химический состав минералов исследовался методом микрорентгеноспектрального анализа на приборе Cameca SX 100 в режиме съемки 15 кВ, 30 нА, (аналитик Н. Н. Кононкова, ГЕОХИ РАН). Из 800 определений состава минералов в них Со и Ni были установлены в 680 случаях.

Целью представленного исследования является выявление содержания кобальта и никеля в составе минералов месторождения. Выявление этих металлов значительно увеличивает ресурсный потенциал камнесамоцветного объекта.

Региональное положение месторождения

Территория месторождения Черногорское расположена в Музкол-Рангульском антиклинории, состоящем из двух тектонических блоков: Сарымулинского (на западе) и Шатпутского (на востоке), перекрытых в центральной части палеозойско-мезозойскими вулканогенно-осадочными породами. Месторождение находится на юго-западном фланге Шатпутского блока [7, 13].

Музкол-Рангульский на востоке и Ванч-Язгулемский антиклинории на западе являются тектоническими элементами зоны Центрального Памира. Они представляют выходы докембрийского основания, на котором вследствие тектонической активизации в кайнозое сформировались гранито-гнейсовые купола [14–16].

Центральный Памир является северо-западным продолжением складчатой киммерийской системы Тибета [17–22], а в тектоническом плане он представляет собой западное продолжение Чиангтангского террейна в Тибете [23–24]. Вместе с центральным и южным Тибетом (Чинагтангский и Лхаса террейны соответственно) Центральный Памир, Юго-Западный и Юго-Восточный Памир в мезозое сформировали киммерийский супертеррейн, который отделился от Гондваны в начале перми и аккрецировался с Евразией в конце триаса [25]. Центральный Памир занимает приграничное положение между герцинидами Северного Памира и

киммеридами Юго-Восточного и Юго-Западного Памира. Киммерийская часть Памира называется Южным Памиром [1, 26].

Образование Памирской складчатой системы является следствием кайнозойской внутриконтинентальной коллизии Индии и Азии [2]. Определение положения глубинных разломов технологией GPS, ограничивающих Памирское нагорье (Памирскую складчатую систему), подтверждают, что эта структура является элементом Индоевропейской коллизионной системы [3].

В составе Памирской складчатой системы выделена музкольская метаморфическая серия мощностью около 6 км, сформировавшая тектоническую структуру – Музкол-Рангульский антиклинорий. Серия состоит из четырех свит горных пород: сассыкской, белеутинской, сарыджилгинской и бурулюкской (снизу вверх) [27].

Музкольская серия претерпела полициклический метаморфизм от высокотемпературной амфиболитовой до эпидот-амфиболитовой и зеленосланцевой фации. Возраст первого метаморфического цикла – 1,9–1,6 млрд лет [27–28]. Он протекал в условиях высокотемпературной амфиболитовой фации: $T = 700\text{--}750^\circ\text{C}$, $P = 8\text{--}9$ кбар. Второй цикл состоялся 0,1–0,02 млрд лет назад и проявился зонально [4, 10] в $P\text{--}T$ условиях от 800°C и 9 кбар (зона полного плавления) в центральной части антиклинория и по направлению к периферии через эпидот-амфиболитовую к зеленосланцевой фации при 350°C и 4 кбар.

Вмещают месторождение Черногорское метаморфические породы сарыджилгинской свиты мощностью 1300 м. Важное значение в ее составе и всей серии играют магматические породы трех интрузивных комплексов, двух докембрийских: кукуртского (лерцолиты, гарцбургиты, пироксениты, калиевые габброиды, нефелиновые сиениты, шонкиниты, ийолиты, уртиты,) и зорбурулюкский (гнейсограниты), а также палеогенового – шатпутский комплекс (граниты и пегматиты).

Геологическое строение месторождения

Площадь месторождения составляет $360 \times (110\text{--}180)$ м. Оно сложено породами двух типов, имеющих субширотное простирание с падением на север под углами $60\text{--}75^\circ$. Мы их разделяем по цвету на темноцветные и сероцветные (рис. 1) [29–30].

Темноцветные породы, в свою очередь, разделены на две группы. Первая группа выявлена в северо-восточной части месторождения (см. рис. 1). Породы среднезернистые, порфирированной текстуры. Они имеют форму дайки мощностью около 10 м. Плотность пород составляет $3,29 \text{ г/см}^3$. Порфирированные кристаллы представлены неизменным, слегка вытянутым оливином размером от 0,1 до 5 мм. По его периферии наблюдаются мелкие зерна ромбического пироксена с железистостью около 20 %, состоящего на 80 % из энстатита и на 20 % из ферросилита. В серпентиновом агрегате располагаются мелкие чешуйки флогопита. Акцессорные минералы представляют алюмохромистый магнетит, железохромистую шпинель, железистый (до 9,1 % (мас.) магнетит, ильменорутит, апатит и пентландит.

Высокое содержание магнезиального оливина в данной породе (более 50 %) и энстатита (30%) позволяет отнести ее к гарцбургиту, который ранее не был известен в составе кукуртского комплекса.

Вторая группа темноцветных пород, самая крупная по объему, представлена меланократовой до мезократовой, слегка пористой породой, с варьирующей плотностью $3,13\text{--}3,18\text{--}3,20 \text{ г/см}^3$. Щелочная роговая обманка является главным минералом пород этой группы. Вторым по значению минералом следует флогопит. Его доля достигает 20%. Третьими являются плагиоклаз и скаполит, со значительным преобладанием первого. В его составе содержится от 5 до 20 % анортитовой молекулы, что соответствует олигоклазу. По петрохимическим особенностям мы относим эту группу пород к ортоамфиболитам.

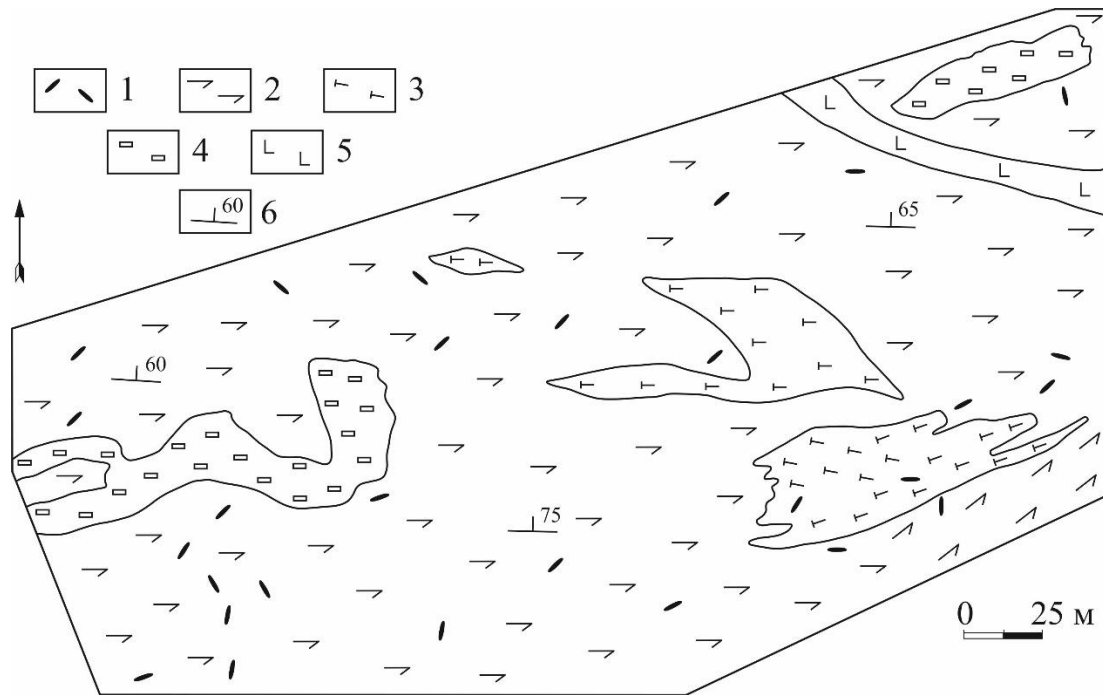


Рис. 1. Геологический план месторождения Черногорское:

1 – линзы с ювелирным скаполитом; 2 – амфиболиты; 3 – альбититы, бедные темноцветными минералами; 4 – альбититы, обогащенные темноцветными минералами; 5 – гарцбургиты; 6 – элементы залегания

Fig. 1 Chernogorsky deposit geological map:

1 – lenses with jewelry scapolite; 2 – amphibolite; 3 – albitite with low content of mafic minerals; 4 – albitite enriched in mafic minerals; 5 – harzburgite; 6 – dip and strike

Сероцветные породы занимают секущее положение по отношению к темноцветным, почти черным ортоамфиболитам и гарцбургитам. Сероцветные породы разделены на две группы. Первая представлена альбититами, которые образуют три крупных тела сложной формы на флангах (см. рис. 1). Плагиоклаз в альбититах содержит 1–5 % анортитовой молекулы. Он формирует агрегаты со средне- и крупнозернистой гранобластовой структурой. Встречаются участки с массивной, полосчатой и вкрапленной текстурой. В интерстициях зерен альбита отмечается скаполит, а в массе – включения рутила, титанита, флогопита, кальцита, доломита и роговой обманки до 3 см в поперечнике. Вторая группа представлена скаполит(мариалит)-альбитовыми линзами, занимающими очень небольшой объем в контуре месторождения (см. рис. 1). Она имеет главный промышленный интерес как источник получения ювелирного скаполита. В светлых породах авторами установлены реликты нефелина и содалита [4, 29].

Концентрации кобальта и никеля

Высокие концентрации кобальта и никеля в горных породах были установлены по 680 определениям во всех минералах месторождения. Содержание Co составляет от 0,03 до 0,07 в нерудных минералах и от 0,06 до 1,8 мас. % в рудных. Содержание Ni варьирует от 0,06 до 1,8 в нерудных (табл. 1) и от 0,07 до 41,1 мас. % в рудных минералах (табл. 2). Это позволяет считать данный факт типоморфным признаком для породообразующих, акцессорных и рудных минералов района месторождения скаполита. Сравнение полученных значений с кларком Co (0,0018 %) и Ni (0,058 %) [31] позволяют оценить содержание Co более чем в 20 раз выше кларка, а содержание Ni – в 10 раз. Современные подсчеты кларка рассматриваемых элементов определялись девятью группами исследователей [32]. По их данным, кларк Co имеет значения от 0,0007 до 0,0017, а Ni – от 0,019 до 0,047 %. Эти данные еще больше повышают перспективы и возможности комплексного освоения камнесамоцветного месторождения скаполита.



Таблица 1

Химический состав нерудных минералов месторождения, % (мас.)

Chemical composition of the deposit non-metallic minerals, % (wt.)

SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Cr ₂ O ₃	P ₂ O ₅	Cl	F	Co	Ni
<i>Апатит</i>													
0,3	–	–	0,02	–	53,34	0,14	0,02	0,12	39,76	1,03	5,0	0,04	0,05
<i>Биотит</i>													
37	2,66	15,2	17,7	16,22	0,25	0,12	8,18	0,06	0,14	0,32	0,2	0,04	0,09
<i>Кальцит</i>													
–	0,01	0,02	0,7	1,24	55,44	0,04	–	–	0,06	0,01	–	0,03	0,04
<i>Калишпат</i>													
58	–	20,9	0,1	–	0,04	2,08	10,93	0,04	0,17	–	–	0,03	0,02
<i>Оливин</i>													
39	0,06	0,23	19,5	40,28	0,14	0,04	–	0,07	0,35	0,01	–	0,06	0,23
<i>Плагиоклаз</i>													
65	–	22,5	0,1	0,01	2,91	10,27	0,09	0,02	0,37	0,02	0,2	0,04	0,03
<i>Пироксен</i>													
54	0,02	1,63	11,2	27,55	0,83	0,03	0,01	0,02	0,28	0,01	–	0,05	0,06
<i>Роговая обманка</i>													
41	1,33	11,3	18,0	10,11	11,4	2,27	1,13	0,04	0,4	0,51	–	0,06	0,10
<i>Скаполит</i>													
54	0,03	25,3	0,1	0,03	9,14	9,1	0,43	0,04	0,16	2,1	–	0,03	0,03
<i>Содалит</i>													
37	–	33,6	0,2	–	0,09	26,46	0,04	0,03	0,14	6,52	0,1	0,04	0,06
<i>Флогопит</i>													
39	1,19	17,1	6,2	22,8	0,06	1,89	6,74	0,02	0,35	0,2	0,4	0,07	0,13

Таблица 2

Химический состав рудных минералов месторождения, % (мас.)

Chemical composition of the deposit ore minerals, % (wt.)

SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Cr ₂ O ₃	P ₂ O ₅	Cl	F	Co	Ni
<i>Гематит</i>													
–	0,01	0,01	60,5	0,01	–	0,03	–	0,02	0,26	0,02	0,1	0,09	0,07
<i>Ильменит</i>													
0,1	39,99	0,09	54,9	0,35	0,01	0,01	0,02	–	0,25	0,01	–	0,07	0,08
<i>Магнетит</i>													
0,1	0,17	0,14	77,7	0,1	0,04	0,02	0,01	–	0,23	–	0,3	0,11	0,46
<i>Пентландит</i>													
0,2	–	0,01	35,4	0,15	0,02	–	0,01	0,06	0,28	0,01	0,1	1,80	44,1
<i>Пирит</i>													
–	–	–	46,89	–	–	–	–	0,02	–	–	–	0,06	0,11
<i>Пирротин</i>													
3,7	0,05	0,05	65,1	0,36	0,47	0,04	–	0,02	0,39	–	0,2	0,69	0,41
<i>Титаним</i>													
29	35,63	1,1	1,2	0,02	28,12	–	0,02	–	0,26	–	0,2	0,06	0,07

Таблица 3

Ресурсный потенциал кобальта в мире, (тыс. т) по [35] с дополнениями авторов

The world cobalt resource potential, kt (based on [35] with the additions of the authors)

Страна	Ресурсы, тыс. т	% от мировых	Среднее содержание Co, %
Австралия	420	5,2	0,07
Ботсвана	70	0,9	0,06
Греция	120	0,9	0,04
Заир	2500	31	0,31
Замбия	540	7	0,17
Индонезия	580	7	0,11
Казахстан	70	0,9	0,04
Китай	320	4	0,04
Куба	1800	22	0,10
Новая Каледония	860	11	0,07
Папуа – Новая Гвинея	151	1,9	0,11
Россия	230	2,9	0,10
Таджикистан	409	5	0,06

Концентрации Со и Ni в очень малых количествах (на уровне чувствительности анализа) встречаются и в смежных территориях Юго-Западного Памира [33].

В месторождениях силикатного типа коры выветривания содержание Со составляет от 0,0n до 0,n %, а Ni – от 0,7 до n1,0 % [34]. Содержание этих элементов в породообразующих минералах на рассматриваемом объекте сопоставимо с содержанием этих металлов в горной массе (см. табл. 1). Высокое содержание Со и Ni во всех минералах, включая рудные (см. табл. 2), позволяет рассматривать всю толщу горных пород месторождения Черногорское как уникальную геохимическую аномалию.

Площадь геохимической аномалии составляет около 55 тыс. м². С учетом крутопадающего залегания амфиболитов объективно можно экстраполировать глубину на 100 м. При средней плотности 3,16 т/м³ горная масса составит 17 064 тыс. т. Среднее содержание исследованных элементов составляет: Со – 0,06 %, а Ni – 0,09 %. Прогнозный геохимический потенциал составит: кобальта – 102 384 т и никеля – 153 576 т. Учитывая, что кобальт- и никеленосные породы месторождения прослежены на запад на 0,2 км, а на восток – на 1 км, геохимический потенциал этих металлов: Со – 409 тыс. т, Ni – 614 тыс. т. Геохимический потенциал кобальта месторождения сопоставим с ресурсами таких стран, как Австралия, и значительно превышает ресурсы кобальта Китая,

России, Казахстана, Ботсваны, Греции и Новой Гвинеи (табл. 3). Оцененные ресурсы Со в крупнейших докембрийских месторождениях Африки составляют сотни тысяч тонн [35]. Рассматриваемый нами объект по содержанию и ресурсам можно сравнивать с ними.

Похожая геологическая ситуация наблюдается в Угловско-Туруханском блоке Иртышской зоны смятия. Здесь в гарцбургитах и амфиболитах содержание Со достигает соответственно 0,01 и 0,007, а Ni – 0,19 и 0,01 мас. % [36]. Это содержание имеет значительно меньшие значения по сравнению с рассматриваемым Черногорским месторождением.

Нужно отметить, что район установленной нами геохимической аномалии Со и Ni благоприятный для вскрытия и отработки открытым способом в условиях расчлененного горного рельефа и крутопадающего залегания блока рудовмещающих пород.

Заключение

На территории, специализированной на камнесамоцветном кристаллосырье, впервые обнаружена уникальная геохимическая аномалия Со и Ni. Результаты исследований позволяют рекомендовать Министерству геологии Республики Таджикистан и Министерству промышленности Республики Таджикистан месторождение ювелирного скаполита Черногорское как комплексный объект Со–Ni и камнесамоцветного сырья, на котором требуется проведение первоочередных поисково-оценочных работ.

Библиографический список

1. Бархатов Б. П. *Тектоника Памира*. Л.: ЛГУ; 1963. 243 с.
2. Käbner A., Ratschbacher L., Jonckheere R., Enkelmann E., Khan J. et al. Cenozoic intracontinental deformation and exhumation at the northwestern tip of the India-Asia collision – southwestern Tian Shan, Tajikistan, and Kyrgyzstan. *Tectonics*. 2015;35(9):2171–2194.
3. Zhou Y., Jiankun He, Oimahmadov I., Gadoev M., Pan Z. et al. Present-day crustal motion around the Pamir Plateau from GPS measurements. *Gondwana Research*. 2016;35:144–154.
4. Литвиненко А. К., Одинаев Ш. А., Малахов Ф. А. Первая находка содалита и нефелина на месторождении ювелирного скаполита Черногорское (Центральный Памир). *Разведка и охрана недр*. 2019;(7):17–22.
5. Rutte D., Ratschbacher L., Schneider S., Stübner K., Stearns M. A. et al. Building the Pamir-Tibetan Plateau – Crustal stacking, extensional collapse, and lateral extrusion in the Central Pamir: 1. Geometry and kinematics. *Tectonics*. 2017;36(3):342–384.

6. Aminov J., Dupont-Nivet G., Guillot S., Roperch P., Cordier C. et al. Tectonic evolution of the South and Central Pamir terranes from petrologic and paleomagnetic analyses of Cretaceous-Paleogene volcanics. *Geophysical Research Abstracts*. EGU2019-14069. 2019;21.
7. Litvinenko A. K., Moiseeva S. B., Odinaeva Sh. A., Utenkov V.A. Geology of the Chernogorskoe Gem-Quality Scapolite Deposit (Central Pamirs, Tajikistan). *Geology of ore deposits*. 2019. Vol. 61. № 5. Pp. 481–493.
8. Sorokina E. S., Litvinenko A. K., Hofmeister W., Häger T., Jacob D.E., Nasriddinov Z. Z. Rubies and Sapphires from Snezhnoe, Tajikistan. *Gems&Gemology*. 2015;51(2):160–175.
9. Литвиненко А. К., Барнов Н. Т. Генетические типы скаполита сарыджилгинской свиты музкольской метаморфической серии (Центральный Памир). *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2011;(1):23–29.
10. Мадюков И. А., Чупин В. П., Кузьмин Д. В. Генезис скаполита из гранулитов (нижнекоровые ксенолиты из диатрем Памира): результаты изучения расплавных включений. *Геология и геофизика*. 2011;52(11):1677–1694.
11. Литвиненко А. К., Моисеева С. Б., Одинаев Ш. А. Условия образования стенок пустот на месторождении ювелирного скаполита Черногорское, Центральный Памир. *Материалы международной научно-практической конференции «Стратегия развития геологического исследования недр: настоящее и будущее (к 100-летию МГРИ-РГГРУ)»*. Том I. МГРИ-РГГРУ им. Серго Орджоникидзе. М.: Изд. НПП «Фильтроткани»; 2018. С. 220–221.
12. Литвиненко А. К., Одинаев Ш. А. Минералы титана на месторождении ювелирного скаполита Черногорское, Центральный Памир. *Материалы XIV международной научно-практической конференции «Новые идеи в науках о Земле»*. Том II: «Развитие новых идей и тенденций в науках о Земле – минерагении, минералогии и геммологии, петрологии и геохимии». МГРИ им. Серго Орджоникидзе. М.: Изд. НПП «Фильтроткани»; 2019. С. 305–306.
13. Одинаев Ш. А., Литвиненко А. К. Метасоматические карбонатиты междуречье Кукурт-Зорбурулюк, Центральный Памир (Республика Таджикистан). *Сборник статей VII Всероссийской молодежной конференции «Геология, геоэкология и ресурсный потенциал Урала и сопредельных территорий»*. Уфа: РН-БашНИПИнефть; 2019. С. 104–108.
14. Буданов К. Т. Гранитогнейсовые купола Южного Тянь-Шаня и Памира. *Геология и геофизика Таджикистана*. Под ред. М. Б. Акрамова, Р. Б. Баратова. Дониш: Душанбе; 1985. С. 288–297.
15. Rutte D., Ratschbacher L., Schneider S., Stubner K., Stearns M.A., Gulzar M.A., Hacker, B.R. Building the Pamir-Tibetan Plateau – Crustal stacking, extensional collapse and lateral extrusion in the Central Pamir: 1. Geometry and kinematics. *Tectonics*. 2017;36(3):342–384. DOI: 10.1002/2016TC004293.
16. Rutte D., Ratschbacher L., Khan J., Stübner K., Hacker B.R., Stearns M.A., Enkelmann E., Jonckheere R., Pfänder J.A., Sperner B., Tichomirowa M. Building the Pamir-Tibet Plateau—Crustal stacking, Extensional Collapse, and Lateral Extrusion in the Central Pamir: 2. Timing and Rates. *Tectonics*. 2017;36(3):385–419.
17. Бархатов Б. П. Маршрут Хорог – устье р. Висхарви. В кн.: *Путеводитель экскурсий II Всесоюзного тектонического совещания*. Душанбе: Изд. АН Тадж. ССРС; 1962.
18. Губин И. Е. Памир и сопредельные страны (схема тектонического районирования). *Изв. Тадж. фил. АН СССР*. 1943;(2):101–117.
19. Губин И. Е. *Закономерности сейсмических проявлений на территории Таджикистана (Геология и сейсмичность)*. М.: Изд-во АН СССР; 1960. 465 с.
20. Марковский А. П. О взаимоотношении Памира и Тянь-Шаня. *Научные итоги Таджикско-Памирской экспедиции АН СССР*. М.-Л.: Изд-во АН СССР; 1936. С. 156–158.
21. Наливкин Д. В. Палеогеография Средней Азии. *Научные итоги ТПЭ*. М.: Изд-во АН СССР; 1936. С. 35–86.
22. Николаев В. А. Очерк магматической геологии Памира и Дарваза. *Научн. итоги Тадж.-Пам. эксп.* М.: Изд-во АН СССР; 1936. С. 329–387.
23. Schwab M., Ratschbacher L., Siebel W., McWilliams M., Minaev V., Lutkov V., Chen F., Stanek K., Nelson B., Frisch W., Wooden J. L. Assembly of the Pamirs: Age and origin of magmatic belts from the southern Tien Shan to the southern Pamirs and their relation to Tibet. *Tectonics*. 2004;23. DOI: 10.1029/2003TC001583.
24. Robinson A. C. Mesozoic tectonics of the Gondwanan terranes of the Pamir plateau. *Journal of Asian Earth Sciences*. 2015;(102):170–179. DOI:10.1016/j.jseaes.2014.09.012.
25. Zanchi A., Angiolini L., Zanchetta S., Nicora A., Vezzoli G. *The Cimmerian accretion of SE Pamir and its relationships with the surrounding Cimmerian blocks*. 2013.
26. Пашков Б. Р., Буданов В. И. Тектоника зоны сочленения Юго-Восточного и Юго-Западного Памира. *АН СССР, Геотектоника*. 1990;(3):70–79.

27. *Расчленение стратифицированных и интрузивных образований Таджикистана*. Душанбе: Дониш; 1976. 207 с.
28. Буданов В. И., Буданова К. Т. Геолого-петрологическая характеристика обнаженного кристаллического фундамента. *Земная кора и верхняя мантия Таджикистана*. Душанбе: Дониш, 1981. С. 56–112.
29. Одинаев Ш. А. Находка щелочных минералов (нефелин, содалит, калишпат и альбит) на Черногорское месторождение ювелирного скаполита на Центральном Памире (Таджикистан). *Сборник статей студентов, аспирантов, научных сотрудников академических институтов и преподавателей ВУЗов геологического профиля; XXV Всероссийская научная конференция «Уральская минералогическая школа 2019»*. Конференция приурочена к 80-летию Института геологии и геохимии имени академика А.Н. Заварицкого УрО РАН. Екатеринбург: ООО Универсальная Типография «Альфа Принт»; 2019. С. 106–109.
30. Литвиненко А. К., Одинаев Ш. А. СО-NI оруденение на месторождении ювелирного скаполита Черногорское, Центральный Памир. *Материалы XIV международной научно-практической конференции «Новые идеи в науках о Земле» Т. II: Развитие новых идей и тенденций в науках о Земле-минерации, минералогии и геммологии, петрологии и геохимии*. МГРИ им. Серго Орджоникидзе. М.: Изд. НПП «Филтроткани»; 2019. С. 114–117.
31. Виноградов А. П. Среднее содержание химических элементов в горных породах. *Геохимия*. 1962;(7):555–571.
32. Касимов Н. С., Власов Д.В. Кларки химических элементов как эталоны сравнения в экогеохимии. *Вестник Московского университета. Сер. 5: География*. 2015;(2):7–17.
33. Абдушукуров Д. А., Кобулиев З. В., Мамадалиев Б., Минаев В.Е. Тяжелые металлы в бассейне реки Гунт на западном Памире. *Вестник КРСУ*. 2017;17(1):101–106.
34. *Методические рекомендации по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Никелевые и кобальтовые руды*. М.: ФГУ ГКЗ; 2007. 36 с.
35. Быховер Н. А. *Распределение мировых ресурсов минерального сырья по эпохам рудообразования*. М.: Недра; 1984. 576 с.
36. Туркин Ю. А., Гринев Р. О. Гипербазиты и амфиболиты угловско-туруханского блока иртышской зоны. *Вестник Томского государственного университета*. 2015;(394):261–269.

References

- Barkhatov B. P. Structural Geology of Pamir. Leningrad: Leningrad State University Publ.; 1963. 243 p. (In Russ.).
- Käßner A., Ratschbacher L., Jonckheere R., Enkelmann E., Khan J. et al. Cenozoic intracontinental deformation and exhumation at the northwestern tip of the India-Asia collision – southwestern Tian Shan, Tajikistan, and Kyrgyzstan. *Tectonics*. 2015;35(9):2171–2194.
- Zhou Y., Jiankun He, Oimahmadov I., Gadoev M., Pan Z. et al. Present-day crustal motion around the Pamir Plateau from GPS measurements. *Gondwana Research*. 2016;35:144–154.
- Litvinenko A. K., Odinaev Sh. A., Malakhov F. A. Sodalite and nepheline discovery at the Chernogorskoe deposit of jewelry scapolite (Central Pamir). *Exploration and protection of mineral resources*. 2019;(7):17–22. (In Russ.)
- Rutte D., Ratschbacher L., Schneider S., Stübner K., Stearns M. A. et al. Building the Pamir-Tibetan Plateau – Crustal stacking, extensional collapse, and lateral extrusion in the Central Pamir: 1. Geometry and kinematics. *Tectonics*. 2017;36(3):342–384.
- Aminov J., Dupont-Nivet G., Guillot S., Roperch P., Cordier C. et al. Tectonic evolution of the South and Central Pamir terranes from petrologic and paleomagnetic analyses of Cretaceous-Paleogene volcanics. *Geophysical Research Abstracts*. EGU2019-14069. 2019;21.
- Litvinenko A. K., Moiseeva S. B., Odinaeva Sh. A., Utenkov V.A. Geology of the Chernogorskoe Gem-Quality Scapolite Deposit (Central Pamirs, Tajikistan). *Geology of ore deposits*. 2019. Vol. 61. № 5. Pp. 481–493.
- Sorokina E. S., Litvinenko A. K., Hofmeister W., Häger T., Jacob D.E., Nasriddinov Z. Z. Rubies and Sapphires from Snezhnoe, Tajikistan. *Gems&Gemology*. 2015;51(2):160–175. (In Russ.).
- Litvinenko A. K., Barnov N. T. Genetic types of scapolite of Sarydzhilginsky suite of Muzkol metamorphic series (Central Pamir). *News of Higher Educational Institutions. Geology and Exploration*. 2011;(1):23–29. (In Russ.).
- Madyukov I. A., Chupin V. P., Kuzmin D. V. Genesis of scapolite from granulite (lower crust xenoliths from Pamir diatremes): findings of melt inclusion study. *Geology and Geophysics*. 2011;52(11):1677–1694. (In Russ.).
- Litvinenko A. K., Moiseeva S. B., Odinaev Sh. A. Conditions for the formation of void walls at Chernogorsky deposit of jewelry scapolite, Central Pamir. *Proceedings of International Scientific-Practical Conference "Geological Exploration Strategy Development: Present Day and Future (for the 100th anniversary of MSEI-RSSEI). V. I. MSEI-RSSEI named after Sergo Ordzhonikidze*. Moscow: NPP Filtrtkani Publishing House; 2018. P. 220–221 (In Russ.).
- Litvinenko A. K., Odinaev Sh. A. Titanium minerals in Chernogorsky deposit of jewelry scapolite, Central Pamir. *Proceedings of the XIV International Scientific and Practical Conference "New Ideas in Earth Sciences"*.

V. II: "Development of new ideas and trends in Earth sciences - minerageny, mineralogy and gemmology, petrology, and geochemistry". MSEI-RSSEI named after Sergo Ordzhonikidze. Moscow: NPP Filtrotkani Publishing House; 2019. P. 305–306. (In Russ.).

13. Odinaev Sh. A., Litvinenko A. K. Metasomatic carbonatites in the Kukurt-Zorburuliuk river interfluvium, Central Pamir (The Republic of Tajikistan). *Proceedings of the VII All-Russian Youth Conference "Geology, Geoecology and Resource Potential of the Urals and Neighboring Territories"*. Ufa, BashNIPIneft Publ.; 2019. P. 104-108. (In Russ.).

14. Budanova K. T. Granite-gneiss domes of the South Tien Shan and Pamir // *Geology and Geophysics of Tajikistan (Geologiya i geofizika Tadjikistana)*. Akramov M. B., Baratova R. B. (eds.) Donish Publ., Dushanbe; 1985. P. 288–297. (In Russ.).

15. Rutte D., Ratschbacher L., Schneider S., Stübner K., Stearns M. A., Gulzar M. A., Hacker, B.R. Building the Pamir-Tibetan Plateau – Crustal stacking, extensional collapse and lateral extrusion in the Central Pamir: 1. Geometry and kinematics. *Tectonics*. 2017;36(3):342–384. DOI: 10.1002/2016TC004293.

16. Rutte D., Ratschbacher L., Khan J., Stübner K., Hacker B.R., Stearns M. A., Enkelmann E., Jonckheere R., Pfänder J.A., Sperner B., Tichomirowa M. Building the Pamir-Tibet Plateau—Crustal stacking, Extensional Collapse, and Lateral Extrusion in the Central Pamir: 2. Timing and Rates. *Tectonics*. 2017;36(3):385-419.

17. Barkhatov B. P. Route Khorog – Visharvi river mouth. *Guide of excursions for the II All-Union Tectonic Conference*. Dushanbe: Taj. USSR AS Publ.; 1962. (In Russ.).

18. Gubin I. E. Pamir and neighboring countries (tectonic zoning sketch map). *Proceedings of the Tajik Branch of the USSR Academy of Sciences*. 1943;(2):101–117. (In Russ.).

19. Gubin I.E. *Regularities of seismic manifestations in the territory of Tajikistan (Geology and seismicity)*. Moscow: Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR; 1960. 465 p. (In Russ.).

20. Markovsky A.P. *On the relationship between Pamir and Tien Shan // Scientific Findings of the Tajik-Pamir Expedition of the USSR Academy of Sciences*. Moscow, Leningrad: Publishing House of the USSR Academy of Sciences; 1936. P. 156-158. (In Russ.).

21. Nalivkin D. V. Paleogeography of Central Asia. *Scientific Findings of the Tajik-Pamir Expedition of the USSR Academy of Sciences*. Moscow, Leningrad: Publishing House of the USSR Academy of Sciences; 1936. P. 35–86. (In Russ.).

22. Nikolaev V. A. Essay on magmatic geology of Pamir and Darvaz. *Scientific Findings of the Tajik-Pamir Expedition of the USSR Academy of Sciences*. Moscow, Leningrad: Publishing House of the USSR Academy of Sciences; 1936. P. 329–387. (In Russ.).

23. Schwab M., Ratschbacher L., Siebel W., McWilliams M., Minaev V., Lutkov V., Chen F., Stanek K., Nelson B., Frisch W., Wooden J. L. Assembly of the Pamirs: Age and origin of magmatic belts from the southern Tien Shan to the southern Pamirs and their relation to Tibet. *Tectonics*. 2004;23. DOI: 10.1029/2003TC001583.

24. Robinson A. C. Mesozoic tectonics of the Gondwanan terranes of the Pamir plateau. *Journal of Asian Earth Sciences*. 2015;(102):170–179. DOI:10.1016/j.jseae.2014.09.012.

25. Zanchi A., Angiolini L., Zanchetta S., Nicora A., Vezzoli G. *The Cimmerian accretion of SE Pamir and its relationships with the surrounding Cimmerian blocks*. 2013.

26. Pashkov B. R., Budanov V. I. Structural geology of the South-Eastern and South-Western Pamir junction zone. *USSR Academy of Sciences, Structural Geology*. 1990;(3):70–79. (In Russ.).

27. *Breakdown of stratified and intrusive formations of Tajikistan*. Dushanbe: Donish Publ.; 1976. 207 p. (In Russ.).

28. Budanov V. I., Budanova K. T. Geological and petrological characteristics of the exposed crystalline basement. *The Earth's crust and upper mantle in Tajikistan*. Dushanbe: Donish Publ.; 1981. P. 56-112. (In Russ.).

29. Odinaev Sh. A. Discovery of alkaline minerals (nepheline, sodalite, potassium feldspar and albite) at the Chernogorsky deposit of jewelry scapolite, Central Pamir (Tajikistan). *Collection of articles of students, post-graduate students, researchers of academic institutes and university professors of geological profile; The 25th All-Russian Scientific Conference "Ural Mineralogical School 2019"*. The conference for the 80th anniversary of Institute of Geology and Geochemistry named after Academician A.N. Zavaritsky of Ural Branch of RAS. Yekaterinburg: LLC Universal Printing House Alfa Print; 2019. P. 106–109. (In Russ.).

30. Litvinenko A. K., Odinaev Sh. A. Co-Ni mineralisation in Chernogorsky deposit of jewelry scapolite, Central Pamir. *Proceedings of the XIV International Scientific and Practical Conference "New Ideas in Earth Sciences"*. V. II: "Development of new ideas and trends in Earth sciences - minerageny, mineralogy and gemmology, petrology, and geochemistry". MSEI-RSSEI named after Sergo Ordzhonikidze. Moscow: NPP Filtrotkani Publishing House; 2019; P. 114–117. (In Russ.).

31. Vinogradov A. P. Average abundance of chemical elements in rocks. *Geochemistry*. 1962;(7):555–571. (In Russ.).

32. Kasimov N. S., Vlasov D. V. Crustal abundance of chemical elements as reference standards in environmental geochemistry. *Moscow University Newsletter. Ser. 5: Geography*. 2015;(2):7–17. (In Russ.).

33. Abdushukurov D. A., Kobuliev Z. V., Mamadaliev B., Minaev V. E. Heavy metals in the Gunt River catchment area in the western Pamir. *KRSU Bulletin*. 2017;17(1):101–106. (In Russ.).

34. *Guidelines for the application of the Classification for reserves of mineral deposits and prognostic resources. Nickel and cobalt ores.* Moscow: FGA GKZ; 2007. 36 p. (In Russ.).
35. Bykhover N. A. *Distribution of world mineral resources by epoch of ore formation.* Moscow: Nedra Publ.; 1984. 576 p. (In Russ.).
36. Turkin Yu. A., Grinev R. O. Hyperbasite and amphibolite of the Uglovsko-Turukhansky block of the Irtysh zone. *Bulletin of Tomsk State University.* 2015;(394):261–269. (In Russ.).

ORIGINAL PAPERS

DOI: 10.17073/2500-0632-2019-4-292-301

The Influence of Tailings Storage Facilities in the Eastern Part of Jiu Valley on the Water Quality

A. F. Simion¹, C. Drebenstedt², M. Lazar³¹National Institute for Research and Development in Mine Safety and Protection to Explosion – INSEMEX Petroșani, Petroșani, Romania²Technische Universität Bergakademie Freiberg, Freiberg, Germany³University of Petrosani, Petrosani, Romania

Abstract: Mining and sustainable development may be compatible with the priority of measures to reduce impacts on the major ecosystems with severe consequences for the future generations. Infiltration of contaminated water into soils/rocks due to activity of different sectors of mining industry causes increasing concentration of minor and major deleterious elements in natural environment, forcing an economic operator to implement the best available techniques to solve severe environmental problems. The research is aimed at determining heavy metal contents in tailings storage facilities of coal mining operations in the eastern part of Jiu Valley, revealing mechanism of interaction of the TSF infiltrate with East Jiu River, as well as assessing the impact of the TSF on quality of the natural environment. One more aim of the research was to determine the ways by which the TSF components produce negative impact on the soils and surface waters. The obtained results can be fundamental basis for the future researches in the field of closing and maintaining the mining activities in Jiu Valley and the land reclamation.

Keywords: EDXRF, natural environment, mining, soil, tailings storage facilities.

For citation: Simion A. F., Drebenstedt C., Lazar M. The Influence of tailings storage facilities in the eastern part of Jiu Valley on the water quality. *Gornye nauki i tekhnologii = Mining Science and Technology (Russia)*. 2019;4(4):292-301. DOI: 10.17073/2500-0632-2019-4-292-301.

Влияние хвостохранилищ в восточной части долины Джиу на качество воды

Симион А. Ф.¹, Дребенштедт К.², Лазар М.³¹Национальный институт исследований и разработок в области безопасности горных работ и защиты от взрыва – INSEMEX Петрошани, Петрошани, Румыния)²Технический Университет Горная академия, Фрайберг, Германия³Университет Петрошани, Петрошани, Румыния

Аннотация: Горнодобывающая промышленность и устойчивое развитие общества могут быть совместимы с приоритетом мер по снижению дисбалансов, возникающих в основных экосистемах, оказывающих значительное влияние на будущие поколения. Проникновение загрязненных вод в почвы в результате деятельности различных секторов горнодобывающей промышленности приводит к увеличению концентрации вредных для окружающей среды элементов в почвах, что вынуждает хозяйствующего субъекта применять все доступные меры для решения возникающих серьезных экологических проблем. Данное исследование включало определение содержаний тяжелых металлов в хвостохранилищах, содержащих отходы подземной добычи и обогащения угля, расположенных в восточной части долины Джиу, механизма взаимодействия хвостохранилищ с рекой Ист Джиу, а также воздействия хвостохранилищ на качество окружающей среды. Изучены пути и механизмы реализации вредных воздействий компонентов из хвостохранилищ на грунтовые и поверхностные воды. Полученные результаты могут стать фундаментальной основой для будущих исследований в области ведения горных работ и закрытия горных производств в долине Джиу в целях минимизации негативного воздействия на окружающую среду и рекультивации затронутых земель.

Ключевые слова: рентгено-флюоресцентная спектрометрия с рассеянием энергии (EDXRF), окружающая среда, горные работы, почвы/грунты, хвостохранилища.

Для цитирования: Симион А. Ф., Дребенштедт К., Лазар М. Влияние хвостохранилищ в восточной части долины Джиу на качество воды. *Горные науки и технологии*. 2019;4(4):292-301. DOI: 10.17073/2500-0632-2019-4-292-301.



1. Introduction

In Jiu Valley, the human influence on soil cover determines two ways of soil types development: the first involves modification of the soil profile geomorphology due to disposal of tailings material from the coal extraction activity, and the second through intensive usage of the soils in agriculture [4, 5]. Mining activity in Jiu Valley is the main source of environmental pollution, both due to the extraction of coal and as a result of its washing. The main purpose of mining industry is to obtain useful mineral substances from underground resources and prepare them for their valorisation. Deterioration of environment components due to different activities performed within this industry leads to ecological imbalance that affects all living beings. Consequently, finding ways to prevent and reduce the impact of mining activities on the environment is a priority issue in this industry.

2. Presentation of tailings storage facilities and soil sampling networks

In the eastern part of the Jiu Valley there are 4 tailings storage facilities used by 3 mining units (Petrila, Lonea and Livezeni). The tailings storage facilities contain wastes of underground coal mining and following coal washing.

2.1. Livezeni tailings storage facility

Livezeni tailings storage facility was built for tailings disposal originating in the processes of coal mining and preparation at the Livezeni mine.

The tailings consist of both petrographically and granulometrically heterogeneous mixture of mostly barren rocks of productive and basal horizons of Petroșani carboniferous strata, comprising clay, gritty clay, marl, sandstone, coal shale and fragments of coal.



Fig. 1. Livezeni tailings storage facility



Fig. 2. Petrila tailings storage facility



Fig. 3. Jiet tailings storage facility



Fig. 4. Lonea 1 tailings storage facility

2.2. Petrila tailings storage facility

Petrila tailings storage facility was built for storage of waste rocks of Petrila mine and coal washing tailings of Petrila coal-washing plant. The Petrila tailings storage facility consists of 5 cells occupying the area of approximately 86 ha.

As for the hydrological regime, the presence of four lakes, the water level in which depends on season and precipitation rate, should be noted. In rainy periods the tailings heap is crossed by several streams with arising some water accumulations [5].

2.3. Jieț tailings storage facility

Jieț tailings storage facility is located in the vicinity of the former Jieț-Defor coal strip mine and oriented SE-NW. In the north, the TSF heap

borders with the decommissioned coal silos, which belonged to Lonea III. In the southwest, the TSF borders with the road connecting the former Jieț-Defor coal strip mine and the mine coal storage site.

2.4. Lonea 1 tailings storage facility

From geological point of view, Lonea 1 TSF is located on the northern flank of the Petrosani synclinal basin. The base formation consists of Oligocene sediments represented by clayey rocks and greyish rocks. They are overlaid by recent deluvial and quaternary sediments represented by vegetal soils of 0.1 to 0.3m thick. The current TSF volume is estimated at approximately 229,100 m³.

In order to evaluate the TSFs negative impact on groundwater and surface water quality in the region, soil samples were collected from depths of 5 cm and 30 cm below the tailing heap surfaces, according to Order No. 184 of September 21, 1997, and, in addition, several samples at a depth of 60 cm were collected for more detailed survey of the profile under consideration.

3. Assaying for characterization of the tailings storage facilities materials

The soil samples taken from the tailings storage facilities belonging to the mining enterprises of the East Jiu Valley (the sampling points are marked on the maps of Figs. 1–4), were dried, crushed and pressed to produce pills, and then assayed by portable X-ray fluorescence spectrometer (EDXRF). Calibration of the instrument was performed in accordance with the standard "SR EN 15309:2007 Characterization of waste and soils – Determination of X-ray fluorescence elementary composition" using the certified reference material (NIST SRM 2711a Montana II soil) for soil matrix.

The research was aimed at determining content of heavy metals in the surveyed tailings, as well as assessing their influence on local hydrology and hydrogeology. For this, contents of Arsenic, Cadmium, Cobalt, Chromium, Copper, Nickel, Lead, Antimony, Thallium, Vanadium in

the collected tailing soils were measured (Tabs. 2–5), and the obtained results were compared with the alert and impact thresholds according to the land use categories (Table 1), by "ORDER No. 756 of November 3, 1997 for the approval of the Regulation on Environmental Pollution Assessment".

The choice of heavy metals for the assaying has been made taking into account the economic activities carried out in the area and the toxicity to the aquatic ecosystems.

The contents of arsenic, copper and lead in the tailings of Livezeni mine is slightly above the baseline value (see Tabs. 1, 2), with no significant potential pollution being recorded. The chromium and nickel contents exceeded the alert threshold for the sensitive use category, evidencing potentially significant pollution in the area. Therefore, additional monitoring shall be performed for obtaining additional details, based on which soil improvement techniques shall be applied to reduce the concentrations of pollutants and to mitigate potential impact on the environment. The concentrations of antimony, vanadium, thallium, and cadmium exceed the impact threshold for sensitive and less sensitive uses, requiring implementing measures for reducing the soil pollutant concentrations and performing risk assessment studies.

Table 1

Limits of heavy metal contents in soils [7]

Assayed component	Baseline values	Alert threshold Type of use		Impact threshold Type of use		Reference condition
		Sensitive	Less Sensitive	Sensitive	Less Sensitive	
Arsenic	5	15	25	25	50	Order No. 756/1997 (mg/kg, on a dry substance basis)
Cadmium	1	3	5	5	10	
Cobalt	15	30	100	50	250	
Chromium	30	100	300	300	600	
Copper	20	100	250	200	500	
Nickel	20	75	200	150	500	
Lead	20	50	250	100	1000	
Antimony	5	12,5	20	20	40	
Thallium	0.1	0.5	2	2	5	
Vanadium	50	100	200	200	400	

Table 2

Livezeni tailings storage facility material assays (mg/kg, on a dry substance basis)

Sample point	Depth	Element									
		Arsenic	Cadmium	Cobalt	Chromium	Copper	Nickel	Lead	Antimony	Thallium	Vanadium
Sample 1 N 45.39.46,72 E 23.36.83,22	5 cm	8	14	UDL*	137	36	90	22	19	47	211
	30 cm	7	9	60	171	49	154	33	26	44	345
	60 cm	13	19	59	133	50	99	29	25	27	258
Sample 2 N 45.39.47,41 E 23.36.81,41	5 cm	3	8	41	126	47	113	33	15	35	342
	30 cm	10	4	31	148	40	109	27	30	33	278
	60 cm	13	7	50	154	66	118	36	21	40	301
Sample 3 N 45.39.44,87 E 23.36.74,01	5 cm	12	18	9	132	62	127	27	37	46	336
	30 cm	25	20	42	131	61	138	34	35	55	281
	60 cm	9	26	37	148	27	102	20	37	24	190
Blank sample N 45.39.70,55 E 23.36.63,61	5 cm	2	UDL*	12	39	18	41	12	9	11	58
	30 cm	3	UDL*	18	49	11	21	6	15	9	72

* UDL - under detection limit

Table 3

Jiet tailings storage facility material assays (mg/kg, on a dry substance basis)

Sample point	Depth	Element									
		Arsenic	Cadmium	Cobalt	Chromium	Copper	Nickel	Lead	Antimony	Thallium	Vanadium
Sample 1 N 45.43.05,99 E 23.42.52,56	5 cm	14	18	87	112	54	75	29	29	38	368
	30 cm	3	16	127	107	50	83	28	33	15	323
	60 cm	UDL*	3	42	125	27	77	25	18	26	168
Sample 2 N 45.43.08,43E E 23.42.48,54	5 cm	9	10	88	133	74	109	33	19	39	208
	30 cm	6	4	58	99	27	70	24	6	21	296
	60 cm	7	4	66	131	39	89	26	12	43	208
Sample 3 N 45.43.13,26 E 23.42.47,32	5 cm	3	5	44	242	70	108	24	15	62	278
	30 cm	9	4	82	147	53	106	25	18	41	141
	60 cm	12	UDL*	59	255	61	148	28	19	31	268
Sample 4 N 45.43.08,70 E 23.42.52,55	5 cm	13	7	71	187	66	123	36	16	39	398
	30 cm	11	12	60	167	47	124	27	15	58	161
	60 cm	UDL*	3	42	125	27	77	25	18	26	168
Blank sample N 45.43.06,03 E 23.42.37,20	5 cm	17	1	106	162	25	82	45	28	34	206
	30 cm	12	UDL*	48	142	38	330	51	29	47	101

* UDL - under detection limit

Table 4

Lonea 1 tailings storage facility material assays (mg/kg, on a dry substance basis)

Sample point	Depth	Element									
		Arsenic	Cadmium	Cobalt	Chromium	Copper	Nickel	Lead	Antimony	Thallium	Vanadium
Sample 1 N 45.43.08,53 E 23.42.43,86	5 cm	10	11	44	162	69	85	38	13	47	208
	30 cm	10	19	35	206	28	117	24	20	22	87
	60 cm	16	11	31	135	64	91	64	16	46	213
Sample 2 N 45.45.49,66 E 23.44.50,06	5 cm	11	4	UDL*	129	40	71	21	23	46	263
	30 cm	16	7	39	153	75	130	56	28	35	195
	60 cm	14	3	55	148	84	95	26	31	38	224
Sample 3 N 45.45.54,55 E 23.44.45,42	5 cm	10	9	0	124	41	81	20	33	27	120
	30 cm	16	7	97	160	36	95	35	18	53	314
	60 cm	11	7	33	139	35	93	27	14	29	223
Sample 4 N 45.45.63,40 E 23.44.41,82	5 cm	5	12	67	162	74	110	42	18	32	355
	30 cm	9	1	42	183	78	119	34	21	75	265
	60 cm	5	UDL*	33	82	41	83	18	22	26	340
Sample 5 N 45.45.64,86 E 23.44.33,64	5 cm	6	UDL*	UDL*	122	38	63	23	17	27	ND
	30 cm	8	14	81	110	66	111	34	25	35	343
	60 cm	7	16	170	150	65	147	57	25	54	154
Sample 6 N 45.45.58,13 E 23.44.53,70	5 cm	13	3	53	139	45	125	51	20	27	148
	30 cm	9	4	39	170	UDL*	85	23	24	42	113
	60 cm	17	29	38	251	37	159	24	22	34	144
Blank sample N 45.45.40,01 E 23.44.33,18	5 cm	12	21	81	154	199	133	38	51	61	190
	30 cm	10	11	44	162	69	85	38	13	47	208

* UDL - under detection limit

In the Jiet TSF, the contents of arsenic, copper, and lead are slightly higher than the baseline levels (see Tables 1, 3), with no significant potential pollution of the area. The chromium and nickel contents exceed the alert threshold for the sensitive use category, evidencing potentially significant pollution in the area. Therefore, additional monitoring shall be performed for obtain-

ing additional details, based on which soil improvement techniques shall be applied to reduce the concentrations of pollutants and mitigate potential impact on the environment. Concentrations of antimony, vanadium, thallium, and cadmium exceed the impact threshold for sensitive and less sensitive uses, requiring implementing measures for reducing the soil pollutant concentrations and performing risk assessment studies.

Table 5

Petrila tailings storage facility material assays (mg/kg, on a dry substance basis)

Sample point	Depth	Element									
		Arsenic	Cadmium	Cobalt	Chromium	Copper	Nickel	Lead	Antimony	Thallium	Vanadium
Sample 1 N 45.43.24,80 E 23.38.33,33	5 cm	15	ND	35	135	49	128	28	45	39	127
	30 cm	15	9	74	130	47	128	25	32	51	221
	60 cm	13	2	58	134	53	151	30	42	47	222
Sample 2 N 45.43.19,61 E 23.39.54,86	5 cm	14	UDL*	0	111	33	89	27	30	30	174
	30 cm	8	UDL*	72	139	53	106	24	23	39	173
	60 cm	11	9	61	143	48	104	32	41	40	164
Sample 3 N 45.43.37,22 E 23.38.78,44	5 cm	8	UDL*	UDL*	111	53	84	31	28	36	207
	30 cm	24	9	37	161	65	140	51	30	44	219
	60 cm	16	15	123	158	67	162	43	UDL*	59	145
Sample 4 N 45.43.68,11 E 23.39.03,32	5 cm	2	UDL*	49	162	35	98	24	17	33	178
	30 cm	7	14	81	143	28	109	35	27	42	246
	60 cm	10	9	97	129	33	104	28	31	51	260
Sample 5 N 45.43.72,76 E 23.38.52,68	5 cm	13	24	80	123	57	99	33	28	37	92
	30 cm	26	UDL*	155	114	68	125	41	14	51	250
	60 cm	7	4	103	148	51	134	31	34	47	96
Sample 6 N 45.43.68,63 E 23.38.26,91	5 cm	15	UDL*	UDL*	119	68	93	38	26	22	233
	30 cm	12	UDL*	80	104	36	72	22	35	46	83
	60 cm	9	UDL*	0	56	27	65	17	55	19	67
Blank sample N 45.43.74,06 E 23.37.83,86	5 cm	5	1	29	68	19	55	18	22	11	74
	30 cm	7	3	27	76	21	74	11	29	9	68

* UDL - under detection limit

In the Lonea 1 TSF, the contents of arsenic, copper, and lead are higher than the baseline levels (see Tables 1, 4), with potentially significant soil pollution occurring only in some horizons. The chromium and nickel contents exceed the alert threshold for the sensitive use category, evidencing potentially significant pollution in the area. Therefore, additional monitoring shall be performed for obtaining additional details, based on

which soil improvement techniques shall be applied to reduce the concentrations of pollutants and mitigate potential impact on the environment. Concentrations of antimony, vanadium, thallium, and cadmium exceed the impact threshold for sensitive and less sensitive uses, requiring implementing measures for reducing the soil pollutant concentrations and performing risk assessment studies.

In the Petrila mine TSF, the contents of copper and lead are slightly higher than the baseline levels (see Tables 1, 5), with no significant potential pollution of the area. In most cases, the arsenic, chromium and nickel contents exceed the alert threshold for the sensitive use category, evidencing potentially significant pollution in the area. Therefore, additional monitoring shall be performed for obtaining additional details, based on which soil improvement techniques shall be applied to reduce the concentrations of pollutants and mitigate potential impact on the environment. Concentrations of antimony, vanadium, thallium, and cadmium exceed the impact threshold for sensitive and less sensitive uses, requiring implementing measures for reducing the soil pollutant concentrations and performing risk assessment studies.

4. Discussion

The pollution of the surveyed soils with heavy metals was mainly due to the coal mining and washing enterprises activity. Additional marked pollution sources were wood processing, coal burning, road traffic, natural fires, the use of fertilizers, and household activities. Soil enrichment in cadmium was mainly caused by anthropogenic pollution, namely underground coal mining, the use of fertilizers in local micro-farming, the upward movement of metals in the soils due to repeated precipitation and association with organic matter occurring in organic horizons (the upper part of the soils) [3, 8].

The use of high-zinc or phosphorus fertilizers, in addition to soil enrichment with these components, also mobilizes other heavy metals: Ni, Cu, Cd, V, Cr, etc. In the vicinity of the TSFs in the eastern part of Jiu Valley, uncontrolled household waste storages are located, which may produce negative impact on surface water chemistry. Such storages may generate heat to promote mobilizing cadmium into the hydrological system, accompanied by entraining Cd-containing particles in the predominant wind direction [1, 7]. The anthropogenic chromium sources are mainly represented by coal burning in households and thermal power plants. Lead is sourced from extraction and processing of ores and also from the combustion of petrol Pb additives (lead tetramethyl, $Pb(CH_3)_4$ and lead tetraethyl, $Pb(CH_3CH_2)_4$) [2, 6]. The TSFs in the eastern part of Jiu Valley are generally characterized by reduced cover crop, uneven slope angles that encourages infiltration and leakage, and the effect is amplified by abundant precipitations and decreased water interception due to the lack of vegetation cover. Thus, important water flows enter into the tailings storage facilities, where, depending on oxygen content in the air, pH, complexing agents, Eh in the TSF, acid rock drainage and metal leaching (ARDML) conditions arise, which promote leaching of metals and following precipitation of their salts resulting in pollution of soils and surface and ground waters (Fig. 5).

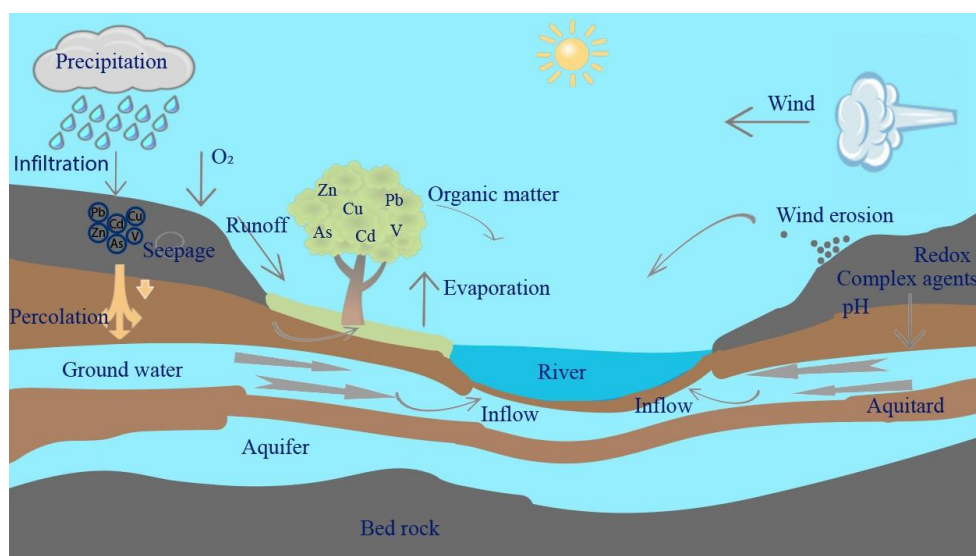


Fig. 5. Influence of TSFs on river basin

Table 6


The East Jiu river water assay data

Sample point / Indicator	East Jiu river downstream the confluence with Rășcoala	East Jiu river upstream Taia	East Jiu river downstream the confluence with Jiet	East Jiu river upstream the confluence with Banița	East Jiu river downstream the confluence with Bănița	East Jiu river near Livezeni
Temperature, °C	7.5	8.1	8.4	7.9	7.7	10.2
pH	6.82	6.7	6.59	6.87	6.67	7.15
Conductivity, μS/m2	84.3	145.6	129.3	141.8	107.1	138.7
TDS*, mg/l	59.4	83.9	68.4	87.3	104.2	92.7
Turbidity, NTU	35	46	45	47	42	45
Sodium, mg/l	4,97	15.1	8.9	7.3	7.9	11.8
Dissolved O ₂ , mg O ₂ /l	12.75	11.91	10.47	12,94	14.9	11.34
BOD ₅ , mg/l	4,97	6.34	5.49	6.18	5.67	4.91
Total phosphorus, mg/l	0.11	0.14	0.17	0.15	0.16	0.21
Nitrite NO ⁻² , mg/l	0.04	0.11	0.06	0.21	0.09	0.34
Nitrate NO ⁻³ , mg/l	1.23	3.14	2.84	3,11	3.17	3.58
Sulfate, mg/l	72.7	68.9	97.3	104.7	98.4	127.5
Phenol, μg/l	1.63	0.8	1.92	4.9	3.4	4.3
Arsenic, μg/l	5	14	13	15	11	12
Chromium, μg/l	UDL*	3	3	2	2	3
Cooper, μg/l	3	5	4	7	3	4
Lead, μg/l	UDL*	UDL*	1	2	2	UDL*
Mercury, μg/l	UDL*	UDL*	UDL*	UDL*	UDL*	UDL*
Cadmium, μg/l	UDL*	UDL*	1	1	UDL*	UDL*

* UDL - under detection limit

Groundwater pollution mainly affects aquatic ecosystems present in the eastern part of Jiu Valley, which can very easily accumulate heavy metals from the environment, because of the time exposure for most species of 100% due to the inability to change the living environment. From toxicological point of view, the pollution with minor elements takes effect only at the regional or river basin level, but the complexity of the effects on aquatic ecosystems, taking into account the local population needs,

produces major impact on health of the population. In this connection we took a decision to collect and assay water samples from East Jiu River (Table 6). Based on the assaying results, the river water proved to be of category 1 quality in terms of metal concentrations and categories 2 and 3 quality in terms of nitrite, nitrate, phenol, and phosphorus concentrations.

Table 6 shows no major impact of the TSFs on East Jiu River. The problem is that the mobility

and mechanism of fixation (and forms of occurrence) of metals in the soils is not yet known, and it is not possible to objectively correlate the metal concentrations in the TSFs in East Jiu Valley with the concentrations of metals in the Jiu River water.

5. Conclusions

As a result of the research on the heavy metal contents in the TSFs in East Jiu Valley, the concentration of the minor elements in the lower horizons of the soils was determined. Notice that the number of metals detected in the assayed soils exceeded that of the metals presented in the paper, but we decided to show the data only for the metals regulated in the Romanian legislation by Order No. 756 of November 3, 1997 (the regulation on environmental pollution assessment).

In the surveyed TSFs located in the eastern part of Jiu Valley contents of arsenic, copper, and lead in the soils exceed the baseline values from the Order 756/1997, and potentially significant soil pollution was revealed in some layers.

The alert threshold for the sensitive use category has been exceeded for chromium and nickel that means significant potential pollution in the surveyed region. The concentrations of antimony, vanadium, thallium and cadmium exceed the impact thresholds for sensitive and less sensitive uses. This requires implementing measures for reducing the soil pollutant concentrations, modernization of the TSFs, and recycling of the TSFs materials. The research findings can serve as useful database for both future correlations and development of complex programs for monitoring and surveying the behavior of heavy metals in soils. Heavy metals contained in the TSFs located in the eastern part of Jiu Valley do not heavily impact on Jiu River water, because the waters with such metal concentrations (measured) belong to quality category 1. However, due to designed long life of the TSFs, they may have greater impact on the river's water in the long term.

References

1. Adriano D. C. Trace elements in Terrestrial Environments. *Biogeochemistry, Bioavailability and Risk of Metals*. Second ed. Springer; 2001.
2. Costache C., Modrojan C. *Ecotoxicology and risk assessment*. Agir Publishing House, Romania; 2006.
3. Iancu O. G., Buzgar N. *The geochemical atlas of heavy metals in the soils of the city also takes its surroundings*. Alexandru Ioan Cuza University Publishing House, Romania; 2008.
4. Lazar M., Dumitrescu I. *Anthropic impact on the environment*. Universitas Publishing House, Romania; 2006.
5. Lazar M. *The rehabilitation of the degraded lands*. Universitas Publishing House, Romania; 2010.
6. Murariu A., Stratu A., Costică N., Costică M., Secu C, Rășcanu D. *Researches concerning the impact pollution with heavy metals of soil and vegetation on the area of domestic waste deposit at Tomești-Iași*, An. Șt. Ale Univ. "Al. I. Cuza" Iași, T. LIII, S II a. Biologie vegetală; 2007.
7. ORDIN nr. 756 din 3 noiembrie 1997 pentru aprobarea *Reglementării privind evaluarea poluării mediului*.
8. Siegel F. R. *Environmental Geochemistry of Potentially Toxic Elements*. SpringerVerlag, Berlin; 2002. P. 218.
9. SR EN 15309:2007 *Characterization of waste and soils – Determination of the X-ray fluorescence elementary composition*.

ORIGINAL PAPERS

DOI: 10.17073/2500-0632-2019-4-302-308

Driver Safety System Implementation in Europe**L. Manthey, D. M. Popov**

Technische Universität Bergakademie Freiberg, Freiberg, Germany

Abstract: In mining industry safety is top priority. There is a request for safety management, risk prevention and operator training. Operator fatigue and distraction leads to dangerous situations. The paper is aimed at reviewing the issues of fatigued or distracted driver operation. This is achieved through creating models in occupational safety strategies. Hereafter the implementation of fatigue and distraction control system within a pilot project is discussed. The pilot project was aimed at collecting realistic operation data from mining industry in Europe. Caterpillar Inc. offers a solution called Driver Safety System (DSS). When driver's micro-sleep is detected, the system alerts operator through different alarms directly. Dangerous events are also recorded and classified individually in 24/7 monitoring centre. The DSS was tested at European limestone open pit mine with typical working regime. This paper discusses theories, results and transferable insights of the study.

Keywords: mining safety, HS models, Driver Safety System (DSS, Caterpillar Inc.), operator safety.

For citation: Manthey L., Popov D. M. Driver safety system implementation in Europe. *Gornye nauki i tekhnologii = Mining Science and Technology (Russia)*. 2019;4(4):302-308. DOI: 10.17073/2500-0632-2019-4-302-308.

Внедрение системы безопасности водителя в Европе**Манте Л., Попов Д. М.**

Технический Университет Горная академия, Фрайберг, Германия

Аннотация: В горнодобывающей промышленности безопасность является главным приоритетом. Существует запрос на управление безопасностью, снижение рисков и обучение операторов. Усталость и рассеянность оператора приводит к возникновению опасных ситуаций. Первоначальная наша задача – проиллюстрировать проблему усталости или отвлечения внимания оператора. Сначала это выполняется с использованием моделей в стратегиях охраны труда. Далее обсуждается внедрение системы контроля усталости в рамках пилотного проекта. Пилотный проект был ключевым методом получения актуальных данных по горнодобывающей промышленности Европы. Компания Caterpillar Inc. предлагает решение под названием Система безопасности водителя (DSS). Когда обнаруживается микросон, система напрямую оповещает водителя/оператора посредством различных тревожных сигналов. Опасные события также будут зафиксированы и классифицированы индивидуально в круглосуточном центре мониторинга. Система безопасности водителя (DSS) была испытана в европейском карьере по добыче известняка с типичным режимом работы. В этой статье обсуждаются теории, результаты и полезные выводы и оценки.

Ключевые слова: безопасность горных работ, модели охраны труда и промышленной безопасности (ОТ и ПБ), система безопасности водителя (DSS, Caterpillar Inc.), безопасность оператора.

Для цитирования: Манте Л., Попов Д. М. Внедрение системы безопасности водителя в Европе. *Горные науки и технологии*. 2019;4(4):302-308. DOI: 10.17073/2500-0632-2019-4-302-308.

1. Introduction to the subject

Topics and concepts in the field of operational safety are of great importance in mining operations. The reason for this lies in the fact that industrial environment of extractive industry offers a variety of different hazards. These hazards may relate to both employees of mining company and the immediate environment, but also to uninvolved third parties.

This all attracts high interest in systems that increase operation safety by detecting risks and counter-acting them by taking appropriate measures [3–7].

1.1. Background

Fatigue detection systems can make an important contribution to increasing safety in the environment of material handling machines. Fatigue and tiredness reduce operator/driver capability to safely



and consciously operate a device or a vehicle. Arising driver's micro-sleep moments results in completely uncontrolled machine movement. Such periods produce tremendous risk to the machine operator, capital goods and the machine immediate environment. A simple example is illustrated in Figure 1, in which general dangerous situation scenario is illustrated by realistic figures [5].

In addition to fatigue, distraction can lead to unsafe condition. If vehicle operator gets distracted for a certain period of time, he or she will not be able to respond to sudden and unexpected events during this time. Again, the assumed loss of control, or at least the limited attention in regards to the safe operation of the machine leads to increased accident risk.

1.2. Problem definition

These negative effects resulting from tiredness and their frequency are generally not observable or assessable by management and other responsible persons for occupational safety. Dealing with fatigue and distraction is therefore the problem of the device operator himself only; his full commitment and ability to operate safely in the work environment is almost taken for granted. At the same time, operators/drivers usually have little opportunity in this respect to receive more favorable conditions (e.g. shift schedule or breaks) [6].

1.3. Basic project objectives and project partners

Basically, it should be noted that fatigue as natural condition, which can be never completely excluded. The same applies to the downstream consequences such as micro sleep. The goal must therefore be to improve the operational conditions and to

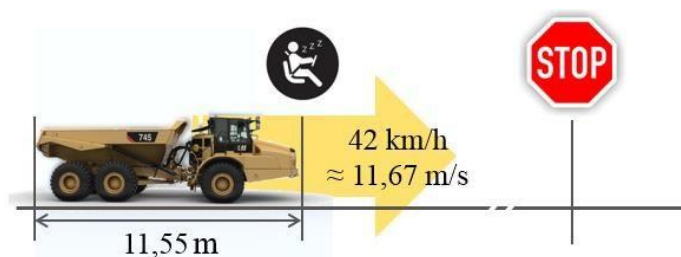
early detect fatigue signs. The aim is to reduce frequency of dangerous situations in the long term. Such strategies are discussed in the context of Occupational Safety and Health (OSH) strategies.

Safety is also a top priority within Caterpillar Inc.; that is why the Caterpillar Safety Services division was established. In addition and under the agreement with the TU Bergakademie Freiberg, two surveys were performed in this field. Among other things, various models of occupational safety should be produced and analyzed in the case study. Unfortunately, insufficient attention is paid to fatigue issues and consequences in recent investigations and regulations, although it produces ubiquitous and everyday impact on work outcomes and safety.

2. Detailed consideration of the problem

During micro sleep no decision can be made. Self-explanatory visual impressions are not consumed and processed by the (largely) "disabled" sensory organs. Thus, operator misses the most important information for controlling vehicle/device/machine or piece of equipment. Realistic consequences of this may be as follows:

- accidents as a result of braking too late, driving obstacles;
- leaving haul road and collision with a berm or facilities in the immediate vicinity of the hauling way;
- leaving due lane towards the opposite lane and collision with oncoming vehicles;
- vehicle going downhill due to misjudgment and slow reaction;



1 sec microsleep nearly equals machine length

Fig. 1. Simple illustration of the basic problem as an introduction to the topic [5]

- dangerous actions (abrupt acceleration, mistaken wheel turning) when suddenly waking up;
- incorrect operation of vehicle (sudden acceleration, sudden deceleration, wrong getting into gear, etc.).

An initial rough consideration of the problem would suggest that fatigue events occur exclusively or at least for the most part in night shifts, whereas distraction does not strictly depend on shift/time of day. However, this consideration would be too simple and does not correspond to the data available from comparable studies [1, 4, 6, 8, 10].

2.1. Investigation: Dangerous time

Previous studies in similar environments showed that fatigue-related accidents should not be considered as a phenomenon of late work or night shifts. Instead, the accidents time-distribution is almost even, with an exception of rising in the afternoon hours. One of identified reasons for this is the influence of circadian rhythms. Circadian rhythms describe human performance for 24-hour day and is colloquially referred to as the "internal clock". According to these rhythms, human activity (performance) decreases in the afternoon hours [10]. If one compares the accident curve with the performance curve, the congruence of these curves suggests the existing correlation.

2.2. Investigation: Frequency of hazardous situations

2.2.1. Essentials

The main objective of the investigations in the field of risk assessment related to fatigue and distraction accidents was determining their frequency. Thereafter, implementing intervention (correction) measures/mechanisms results in de-

creasing frequency of the situations that are considered hazardous. Basically, when assessing risk, complete safety can never be reached. In any case, a residual risk remains. A certain risk must therefore be within the range that is adopted as an admissible risk (Fig. 2).

So far, individual fatigue-related operation accident events cannot be correctly counted, since fatigue impact is seen in most of accidents occurring. If quantitative assessment is impossible, the need for qualitative assessment arises. In this field, vehicle/machine operator should evaluate himself his operating condition and arising related risks in each situation. On the other hand, a company must set and evaluate long-term safety objectives and strategies. Such approach allows to outline boundaries/boundary conditions, when the need for response/mitigation actions and their scope become apparent.

2.2.2. In-depth scheme: intervention thresholds

For an identified hazard, a chain of correction actions emerges, which is illustrated in Fig. 3, complementing Fig. 2 above.

Fig. 2 shows that a risk resulting from hazardous behaviour is divided into individual segments from low to high in magnitude. The transitional areas of these segments show "alarm threshold" and "danger (hazard) threshold". To determine danger threshold, specific limiting or guiding values are usually proposed. For the case in point, however, no specific figures are available. Data of in-house risk assessment and the associated accident frequency allow to determine area, to which a fatigue-related risk of accidents belong.



Fig. 2. Representation of the concepts of safety, dangerous behavior and danger [11]

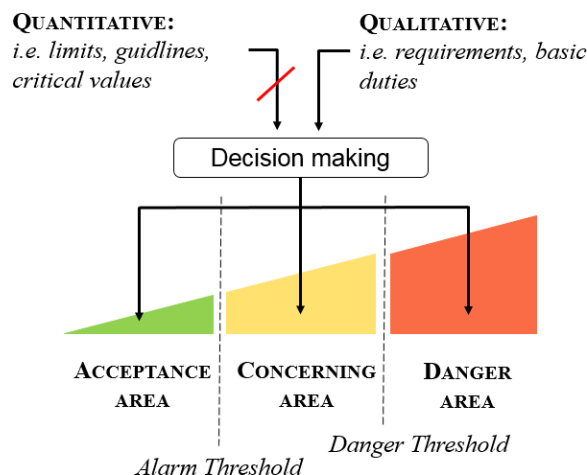


Fig. 3. Scheme for risk assessment [11]

3. Assessing/predicting and displaying risks

However, since qualitative risk assessment depends on individual perception of each, the need arises to quantitatively describe risk using figures and formulas. The best way is to apply formulas proposed in [11], which assess risk based on probability of occurrence and damage severity, see Equation 1 below:

$$\text{Risk} = \text{Probability} * \text{Damage};$$

$$\frac{\text{Damage}}{\text{Time interval}} = \frac{\text{Event}}{\text{Time interval}} * \frac{\text{Damage}}{\text{Event}} \quad (1)$$

3.1. Probability

Assessment of the likelihood of occurrence is based on Table 1, which makes both qualitative and quantitative grading possible. It is important that realistic framework is chosen, first of all, the period under consideration, which reflects the type of work and time periods. The typical period for reviewing is one calendar year.

In the present study, the probability of hazardous micro sleep event occurrence is considered. Through a fatigue detection system (here: Driver Safety System) these events should be

minimized. For a correct detection of the actual state before the introduction of a fatigue detection system, it will be necessary to record the number of events via the system, without any feedback to the device operator in this test period. Based on these figures, the actual hazard for the operation becomes visible. In the course of a project, all actual hazardous situations and also near misses, which for various reasons did not lead to an accident, must be taken into account.

In the present study, the micro sleep event probability is considered. Through fatigue detection system (hereinafter, Driver Safety System) these events should be minimized. For correct detection of actual state, before introduction of the fatigue detection system, record a number of such events should be detected in recorded in the system, without any feedback to a vehicle operator in this test period. Based on these data, the actual hazard for the operation becomes visible. In the course of the project, all actual hazardous situations and also near misses, which for various reasons did not lead to accident, should be taken into account.

Table 1

Assessment of probability of occurrence [11]

Qualitative	Quantitative
Impossible	0
Almost impossible	$10^{-5} = 0.00001$
Possible but unlikely	$10^{-4} = 0.0001$
Occasionally possible	$10^{-3} = 0.001$
Highly possible	$10^{-2} = 0.01$
Almost imminent	$10^{-1} = 0.1$
Inevitable 1	1

Table 2

Representation of (health) damage severity [11]		
Severity	Description	Example of consequence
A	No health impact consequences	no injury small cuts
B	Petty consequences (work can be continued)	
C	Moderate consequences (temporal loss of ability to work without permanent damage)	lacerated wound
D	Heavy consequences (irreparable, permanent damage is possible)	loss of limbs
E	Lethal consequences	fatal injuries

3.2. Damage severity

Besides the hazard event likelihood, the risk assessment also requires more detailed knowledge of the consequences and possible damage severity. An accident may lead to:

1. heavy impact on human (from injury to death - the most impressive impact);
2. machine damage (from repair necessity to total loss), and finally
3. loss of operation performance.

Due to the decreased availability of a machine, the requirements for material transport could no longer be satisfied completely. In addition, investigations following an accident may require temporary operation stoppage.

Since occupational safety primarily focuses on an individual or employee, the severity of an accident refers to the injured person's health. Further information is given in Tab. 2.

3.3. Risk Assessment and Occupational Safety Models

Up to this point the danger from fatigue remains abstract and barely representable. This results especially from the general situation. Although fatigue and the negative consequences are

known, no data recording and analysis are produced. It is therefore impossible to describe the situation using actual figures from operation.

In this case, occupational safety models provide description of the conditions to be assessed. For this purpose, a number of models are available, differing based on the application. As usual for the models, they simplify general situation. As a result, the complexity and multiplicity of different influencing factors considered tend to take a back seat compared to the illustrative presentation. The following models are therefore suitable to form a basic understanding. However, the resulting numerical values or ranges must always be checked for their correlation, taking into account the individual circumstances in actual considered case in real space.

3.3.1. Risk matrix according to NOHL

A well-understood and simply structured overview of the relationship between probability of risk occurrence (actualization) and damage severity, as well as the resulting risk is presented in the risk assessment matrix according to NOHL (BG RCI 2016), see Tab. 3.

Table 3

Risk matrix according to NOHL [2, 10]

Damage severity (right)		No health consequence	Low consequences	Moderate consequences	Serious consequences	Lethal consequences
Probability (below)		A	B	C	D	E
Almost impossible	1	Extremely low (1)	Extremely low (1)	Very low (2)	Low (3)	Middle (4)
Imaginable but unlikely	2	Extremely low (1)	Very low (2)	Low (3)	Middle (4)	High (5)
Occasionally possible	3	Very low (2)	Low (3)	Middle (4)	High (5)	Very high (6)
Well possible	4	Very low (2)	Middle (4)	High (5)	Very high (6)	Extremely high (7)
Almost certainly	5	Very low (2)	Middle (4)	Very high (6)	Extremely high (7)	Extremely high (7)

The risk can be assessed based on information on the probability of occurrence and the severity of the accident. This is performed using values from Tabs. 1 and 2. The result is the matrix in which the hazard starts from the top left and increases towards the bottom right. The actual assessment of the hazard in a European operation will only be possible after completion of the pilot project (see thesis of D. M. Popov).

3.3.2. Presentation of the tripod theory in relation to fatigue

The notion that fatigue alone or a single component of error leads to an accident is criticized by most accident theories [9]. The complexity of possible consideration proves the root cause analysis (RCA). Due to the limited size of this paper, it is not suitable to explain the RCA in more

details than the following sentences. Nonetheless the complexity of the facts about fatigue related accidents requires further breakdown in order to make possible effective protection concepts. Therefore, in addition to the previously presented model, the tripod theory is briefly discussed. This assumes that a certain number of preconditions must be fulfilled in order to an accident event to occur. Each individual condition is represented by a punched card. If the errors/defects lie multidimensionally behind one another, a dangerous situation may arise if protective measures are not taken (represented by the filled-in areas of the punched card). A sketch about the tripod theory, which is occasionally referred to as the Swiss-cheese model, is shown in Fig. 4.

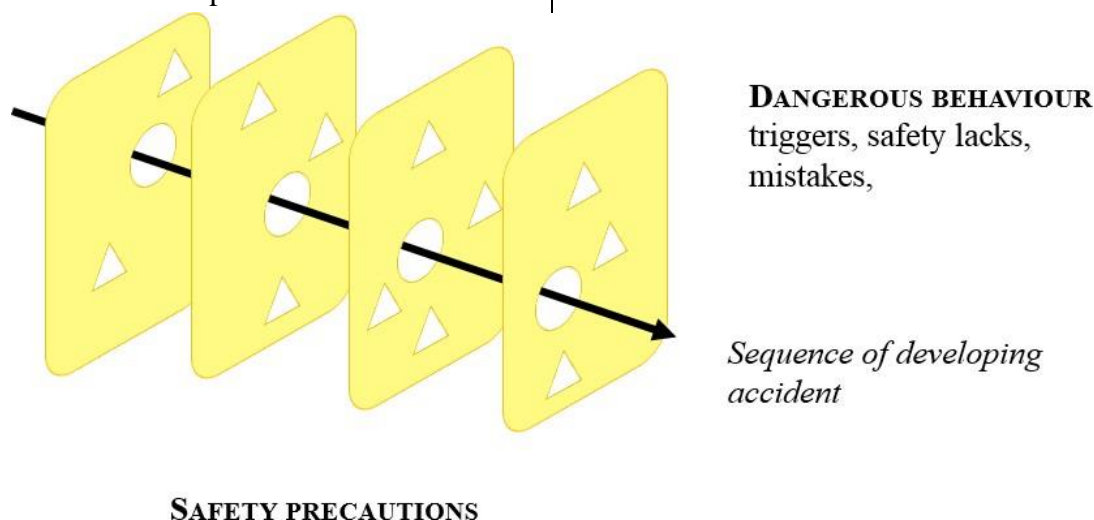


Fig. 4: Consequences of error sequences based on the tripod model, the model after REASON [9]

4. Summary of findings from the accident models and initial conclusion

To conclude this section, the following should be noted: fatigue and distraction are able to reduce the driver's attention to such extent that an accident occurs as a result. In this case fatigue shall be considered as top-priority cause of accident risks. Other causes may be organizational as well as have their origin in the inherent health condition of the operator or in operation environment. Human error is dominating cause of operation accidents. Fatigue may be both primary cause or partial reason of a dangerous situation in the process chain, which may result in an accident. In the field of managing tiredness and readiness to work, there is a great potential

for reducing dangerous situation and accident rate in a company. Minimizing accident risks shall be based on beforehand detecting fatigue signs at all levels and taking countermeasures to reduce accident risks and mitigate possible accident consequences.

There are possible ways to describe the risk of, first of all, fatigue using OHS models. At the final stage of this initial study, the shortage of realistic figures from the European mining operation should be noted, which are required for the models and for substantiating the assumptions made. That is why this investigation is continued to more precisely assess the operation risks.



References

1. Angelone S. *Driver safety system assessment summary report*. 2019.
2. BG RCI 2016. *Gefährdungsbeurteilung: Sieben Schritte zum Ziel*. 2016.
3. Caterpillar. *Fatigue risk assessment*. 2015.
4. Caterpillar. *Fatigue and distraction in management: Improving safety through technology and continuous improvement*. 11th edition. 2018. Available from: <http://viewpointmining.com/article/fatigue-and-distraction-management>.
5. Caterpillar. *Fatigue Infographic: Metric Statistics*. 2018.
6. Caterpillar. *DSS progress report #5*. 2019.
7. Caterpillar. *DSS progress report #7*. 2019.
8. Caterpillar. *Safety Services. Driver safety system (DSS) fatigue intervention plan (FIP)*. 2018.
9. Dagmar D. *Aus Fehlern lernen*. Teil I. Nordrhein. 2011.
10. Evers C., Auerbach K. *Übermüdung als Ursache schwerer Lkw-Unfälle*. *Zeitschrift für Verkehrssicherheit*. 2015;52: 67–70.
11. Gassner W. *Skript zur Vorlesung Arbeitssicherheit: AS 1.VL Einführung*. Freiberg (Saxony); 2018.

ORIGINAL PAPERS

DOI: 10.17073/2500-0632-2019-4-309-317

Hydrothermal Minerals Mapping using based on Remotely Sensed Data from Sentinel 2 Sattelite: a Case Study in Vinh Phuc Province, Northern Vietnam

Le Hung Trinh

Le Quy Don Technical University, Hanoi, Vietnam

Abstract: This paper presents the experiences obtained in the application of Principal Component Analysis (PCA) method to map hydrothermal minerals based on remotely sensed data. In this study, Sentinel-2B MultiSpectral Instrument (MSI) image is used to detect distribution of hydroxyl-bearing minerals in Vinh Phuc province, northern Vietnam. Four bands of Sentinel-2B image including blue band (band 2), Vegetation Red Edge band (band 8A) and SWIR bands (band 11 and 12) are used to calculate the Principal Components, then and then select the Principal Component, which containing provides information on the hydrothermal minerals information. The obtained results findings show that the methodology and data are effective in detecting and mapping hydrothermal mineralization.

Keywords: Remote sensing, hydroxyl-bearing minerals, Principle Component Analysis, Sentinel 2, Vietnam.

For citation: Trinh Le Hung. Hydrothermal Minerals mapping using based on remotely sensed data from Sentinel 2 sattelite: a case study in Vinh Phuc Province, Northern Vietnam. *Gornye nauki i tekhnologii = Mining Science and Technology (Russia)*. 2019;4(4):309-317. DOI: 10.17073/2500-0632-2019-4-309-317.

Картирование гидротермальных минералов по данным дистанционного (спутникового) зондирования с использованием спектрального прибора Сентинель 2 на примере провинции Винь-Пхук, Северный Вьетнам

Чинь Ле Хунг

Технический Университет Ле Куй Дон, Ханой, Вьетнам

Аннотация: В данной статье представлен опыт, полученный при применении метода анализа главных компонент (PCA) для картирования гидротермальных минералов на основе данных дистанционного зондирования. В этом исследовании изображения, полученные посредством дистанционного (спутникового) зондирования с использованием спектрального прибора Сентинель 2Б, используются для определения распределения минералов, содержащих гидроксил, в провинции Винь-Пхук, Северный Вьетнам. Четыре полосы (диапазона) изображения Сентинель 2Б, включая синюю полосу (полоса 2), полосу растительности (красный (длинноволновый) край спектра) (полоса 8А) и полосы SWIR (коротковолновая ИК область спектра, полосы 11 и 12), используются для расчета главных компонент, а затем выбирается главный компонент, несущий информацию о гидротермальных минералах. Полученные результаты показывают, что рассматриваемые методология и данные эффективны при обнаружении и картировании гидротермальной минерализации.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, гидроксил-содержащие минералы, анализ главных компонент, Сентинель 2 (Sentinel 2), Вьетнам.

Для цитирования: Чинь Ле Хунг. Картирование гидротермальных минералов по данным дистанционного (спутникового) зондирования с использованием спектрального прибора Сентинель 2 на примере провинции Винь-Пхук, Северный Вьетнам. *Горные науки и технологии*. 2019;4(4):309-317. DOI: 10.17073/2500-0632-2019-4-309-317.



INTRODUCTION

Vinh Phuc province comprises many types of minerals resources, including those with significant reserves such as building stone, granite, kaolin, sand, gravel, and clay. These minerals are of great significance in development of construction industry and other sectors, contributing to the economic development in the province [19].

Remote sensing has been used for hydrothermally altered mineral mapping and mineral prospecting [6]. The Landsat and ASTER data are the most widely used multispectral data for mapping iron oxides and hydroxyl-bearing minerals [1, 2, 4, 5, 8, 11, 12; 16]. There are many technique based on band ratio and Principal Component Analysis (PCA) applicable to detecting and mapping distribution of minerals [2, 17]. In general, these studies showed that the PCA method is able to detect and map hydrothermal minerals better than band ratio-based method.

Fraser and Green [5] developed DPCA (Directed Principal Component Analysis) method for monitoring hydrothermal minerals distribution. The DPCA method is based on the combination of advantages of the band ratio and PCA methods. Trinh and Zablotskii [17] have developed computer program RS-MINERALS to detect and map iron oxide and clay minerals from Landsat 8 OLI data.

Sentinel-2 (2 satellites: Sentinel-2A and Sentinel-2B) carried on-board high-resolution multispectral imager with 13 bands spanning VNIR through SWIR bands. Sentinel-2A data found the first use for geological applications by Van der Meer et al. in 2014 [18]. In study [18], the authors compared the performance of Sentinel-2A MSI imager with that of the ASTER imager in mapping hydrothermal mineral areas. So far, there are a few studies on mapping and detecting minerals using Sentinel 2 MSI data [6, 9, 13, 15]. Spatial and spectral performance characteristics of the Sentinel-2 MSI are similar to those of Landsat data, and the band ratio and PCA methods can be also used to map hydrothermal minerals based on Sentinel-2 MSI data [6].

This study focuses on the application of Sentinel 2 MSI data to detect and map hydroxyl-bearing minerals in Vinh Phuc province, northern Vietnam. In this study, four Sentinel 2 MSI bands (band 2, 8A, 11 and 12) were used to calculate Principal Component (PC). The PC containing information concerning hydroxyl-bearing minerals was selected based on the comparison of eigenvector matrix values and then used to map hydroxyl-bearing minerals.

STUDY AREA

Vinh Phuc is the province in the Red river delta in northern Vietnam. The province is bordered to the north by Thai Nguyen and Tuyen Quang provinces, to the west by Phu Tho province, and to the south by Hanoi capital city (Fig. 1). According to the statistical yearbook 2018, Vinh Phuc province covers area of 1235.87 km² with population of 1,092,424 people. The province is subdivided into 7 districts and 2 cities. The terrain features extend northwest – southeast, that is characteristic for the North and Northeast of Vietnam. The northern part of the province comprises Tam Dao mountain range with the highest peak of 1.592 m, and the southwestern part is surrounded by two large rivers (Red River and Lo River). The terrain altitude descends from northeast to southwest and is divided into 3 regions with characteristic topography: plains, hills, low and medium-altitude mountains [19].

MATERIALS

The Sentinel-2 mission comprises two satellites developed and launched to support vegetation, land cover, and environmental monitoring. The Sentinel-2A satellite was launched by ESA on June 23, 2015 and operates in sun-synchronous orbit at 10 day repeat cycle. The second identical satellite (Sentinel-2B) was launched on March 7, 2017. Together they cover the whole Earth's land surface, large islands, and inland and coastal waters every five days. The Sentinel-2 MultiSpectral Instrument (MSI) acquires 13 spectral bands ranging from Visible and Near-Infrared (VNIR) to Shortwave Infrared (SWIR) wavelengths along the 290 km orbital swath. Characteristics of Sentinel 2 satellite bands are showed in Tab. 1 [14].

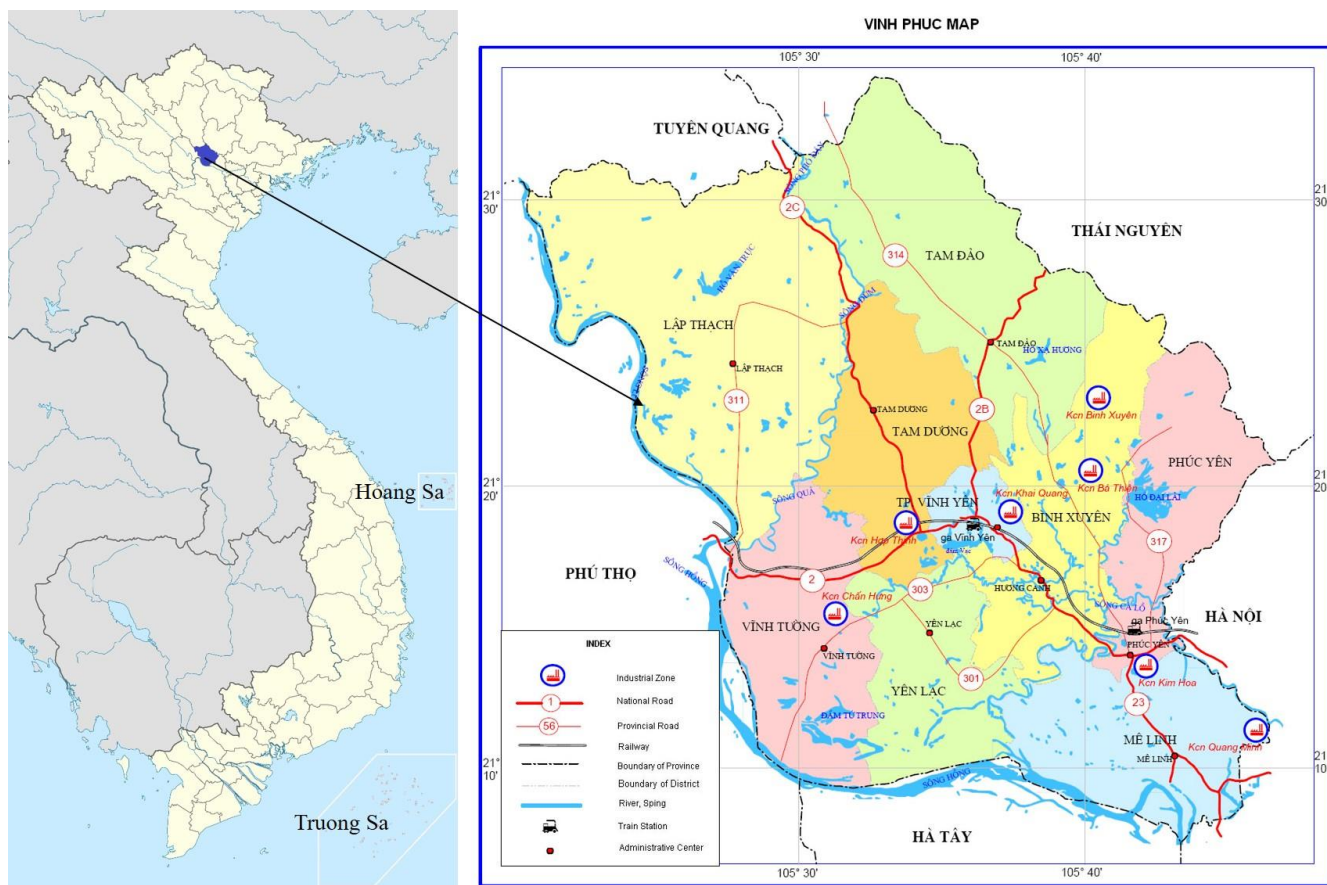


Fig. 1. Study area map, Vinh Phuc province, northern Vietnam

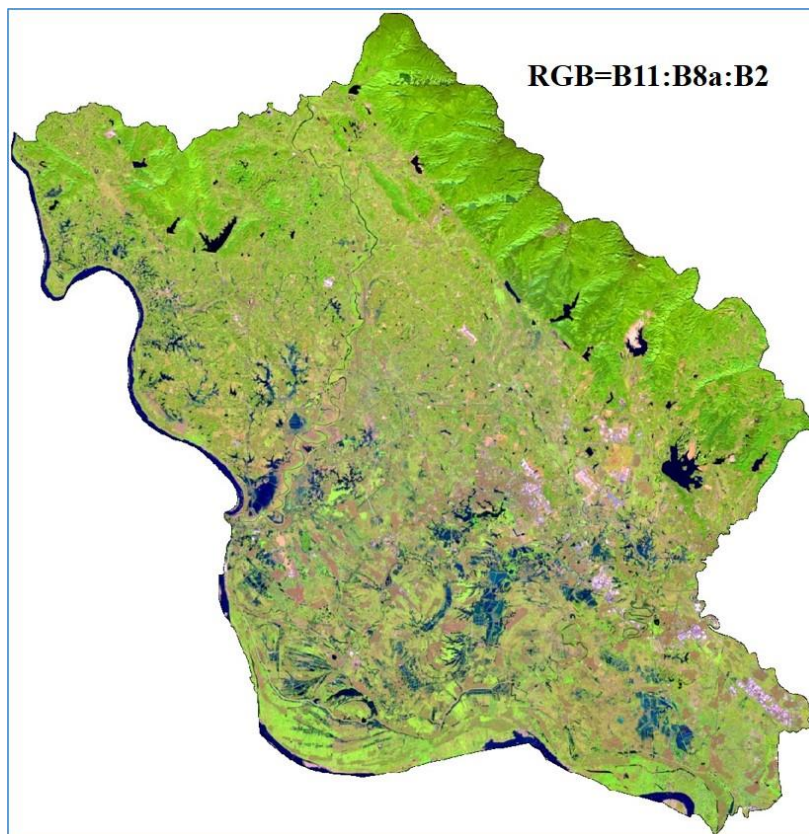


Fig. 2. Sentinel 2B multispectral image in Vinh Phuc province, RGB=B11:B8A:B2



Sentinel-2 band characteristics

Sentinel - 2 Bands	Central wavelength (μm)	Resolution (m)
Band 1 – Coastal aerosol	0.443	60
Band 2 – Blue	0.490	10
Band 3 – Green	0.560	10
Band 4 – Red	0.665	10
Band 5 – Vegetation Red Edge	0.705	20
Band 6 – Vegetation Red Edge	0.740	20
Band 7 – Vegetation Red Edge	0.783	20
Band 8 – NIR	0.842	10
Band 8A – Vegetation Red Edge	0.865	20
Band 9 – Water vapour	0.945	60
Band 10 – SWIR-Cirrus	1.375	60
Band 11 – SWIR	1.610	20
Band 12 – SWIR	2.190	20

Table 2

Comparison of the nominal band centers, bandwidths, and spatial resolution of Sentinel-2 MSI and Landsat 8 OLI

Nominal band centers (nm)											
MSI	444	497	560	664	704	740	783	843	865	1613	2190
OLI	443	482	561	665	NA	NA	NA	NA	865	1609	2201
Nominal bandwidths (nm)											
MSI	20	55	35	30	15	15	15	115	20	90	175
OLI	20	65	60	40	NA	NA	NA	NA	30	85	190
Spatial resolution (m)											
MSI	60	10	10	10	20	20	20	10	20	20	20
OLI	30	30	30	30	NA	NA	NA	NA	30	30	30

In this study, multispectral cloud-free Sentinel-2B images with spatial resolution of 10 m (bands 2, 3, 4, 8), 20 m (bands 5, 6, 7, 8A, 11, 12) and 60 m (bands 1, 9, 10), produced since December 5, 2019 in the Vinh Phuc province (northern Vietnam) were used for mapping hydroxyl-bearing minerals distribution (Fig. 2). The Sentinel-2B data presented the L2A level product, downloaded from Copernicus Open Access Hub (<https://scihub.copernicus.eu>) website. The Level-2A product provides Bottom Of Atmosphere (BOA) reflectance images derived from the associated Level-1C products. The comparison of the nominal band centers, bandwidths, and spatial resolution of Sentinel-2 MSI and Landsat 8 OLI bands is presented in Tab. 2 [14].

METHODS AND FINDINGS

The image processing started with radiometric and geometric correction. At the next step, the Sentinel-2B MSI images were subdivided into subsets for the study area. In this study, image processing was performed using ERDAS Imagine 2014 programs, and hydroxyl-bearing distribution map was created using ArcGIS 10 program.

The PCA method uses the Principal Components transformation technique for reducing dimensionality of correlated multispectral data [10]. The analysis is based on multivariate statistical technique, which selects uncorrelated linear combinations (eigenvector loadings) of variables in such a way that each successively extracted linear combination, or Principal Component (PC), has smaller variance [12]. The statistical variance in

multispectral images is related to the spectral response of various surficial materials such as rocks, soils, and vegetation, and it is also influenced by the statistical dimensionality of the image data [10]. Eigenvalues provide information (using magnitude and sign) about spectral properties of vegetation, rocks and soils, which are responsible for statistical variance mapped into each PC [12].

Hydroxyl-bearing minerals, which have spectral diagnostic feature in the 2.10 – 2.28 μm [3, 7], can cause low reflectance in the Sentinel-2B MSI band 12 (2.180 – 2.200 μm). These minerals also have very high reflectance in the Sentinel-2B MSI band 11 (1.600 – 1.620 μm). Similar to Crosta technique using Landsat TM images, which adopts the association of bands 1, 4, 5 and 7, hydroxyl-bearing minerals are extracted by the combination of Sentinel-2B MSI bands 2, 8A, 11, 12.

The four Principal Components transformation on unstretched bands 2, 8A, 11, 12 of Sentinel-2B image of Vinh Phuc province are shown in Fig. 3. As can be seen, PC1 – the "albedo" image, is about 67.442 % of eigenvalue of the total variance for the unstretched data PCA. PC2 comprises 29.316 % information, PC3 comprises 2.601 % information and PC4 comprises 0.5 % information of four Sentinel-2B bands. In this study area, PC4 highlights hydroxyl-containing minerals as dark pixels because of the greatest loading of band 11 (–0.6745) and band

12 (0.6813) (Tab. 3). The hydroxyl-containing minerals are manifested as dark pixels because the positive loading at band 12, and the bands need to be reversed. Fig. 4 shows the PC4 reverse, in which the bright pixels represent hydroxyl-bearing minerals.

The anomalies for hydroxyl-bearing minerals are determined based on threshold of $\mu + 2\sigma$, where μ and σ represent the mean value and standard deviation of the relevant Principal Component images, respectively [6]. In this study, the threshold value is 6439.928. Fig. 5 shows the final result for hydroxyl-bearing minerals derived from Sentinel-2B MSI data in Vinh Phuc province, in which the hydroxyl-bearing minerals are depicted by blue color. The results presented in this figure show that the hydroxyl-bearing minerals in Vinh Phuc province are concentrated in the central and northwestern parts. This is also consistent with the Vinh Phuc mineral distribution map at a scale of 1 : 200 000 [20].

In this study, the authors also compared the results of mapping hydroxyl-bearing minerals in mines of Vinh Phuc province and their images based on the Sentinel-2B MSI data (Tab. 4). Tab. 4 shows that the mines bearing hydroxyl-containing minerals such as Nhan Ly pegmatite mine, Dong Dao and Xuan Hoa sedimentary rock mines have been correctly mapped based on the Sentinel-2B MSI data using PCA method.

Table 3

The eigenvector matrix values and eigenvalues of PCA for 2, 8A, 11, 12 bands of Sentinel -2B MSI images

Principal Component	Eigen matrix				Eigenvalues (%)
	B2	B8A	B11	B12	
PC1	0.1081	0.5628	0.6353	0.5176	67.442
PC2	–0.2599	0.7834	–0.2295	–0.5159	29.316
PC3	–0.9335	–0.1952	0.2980	0.0414	2.601
PC4	–0.2222	0.1774	–0.6745	0.6813	0.941

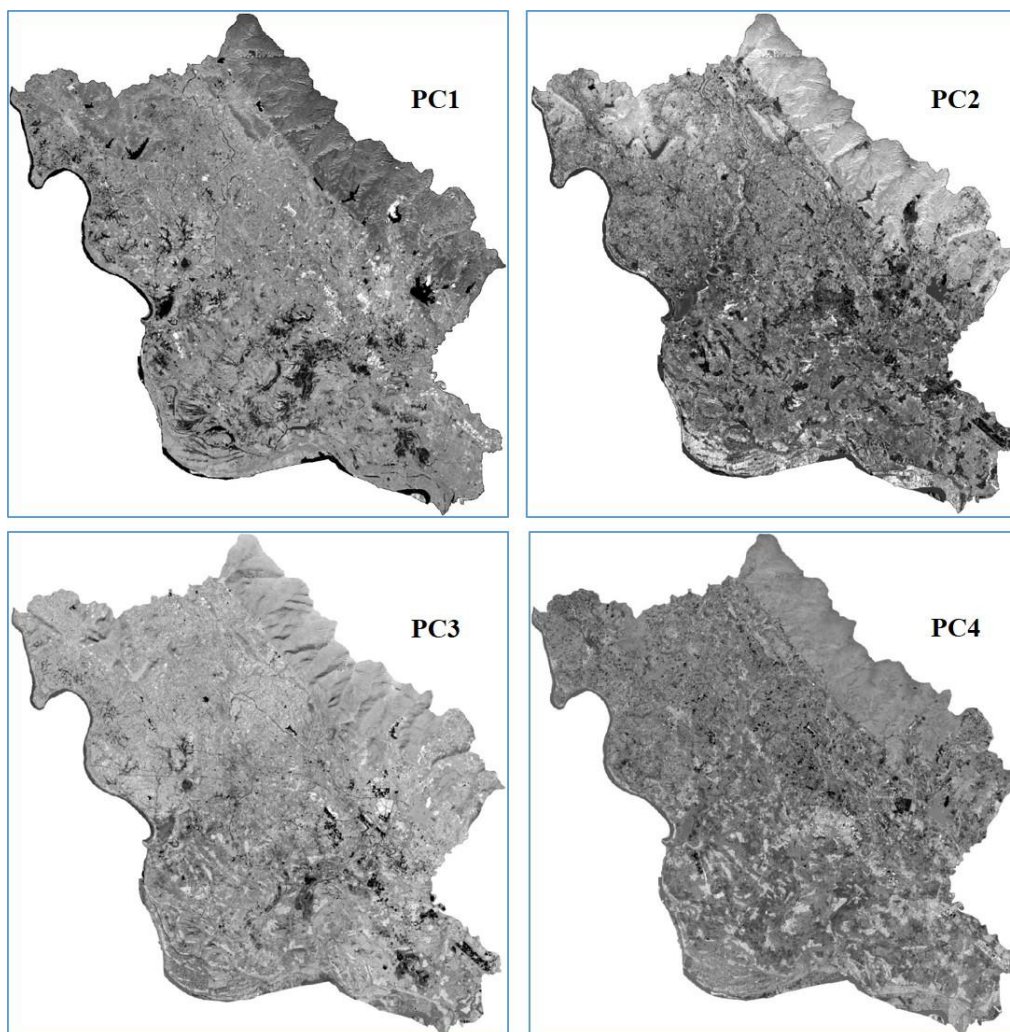


Fig. 3. Principal Component Analysis for mapping hydroxyl-bearing minerals in Vinh Phuc province, northern Vietnam

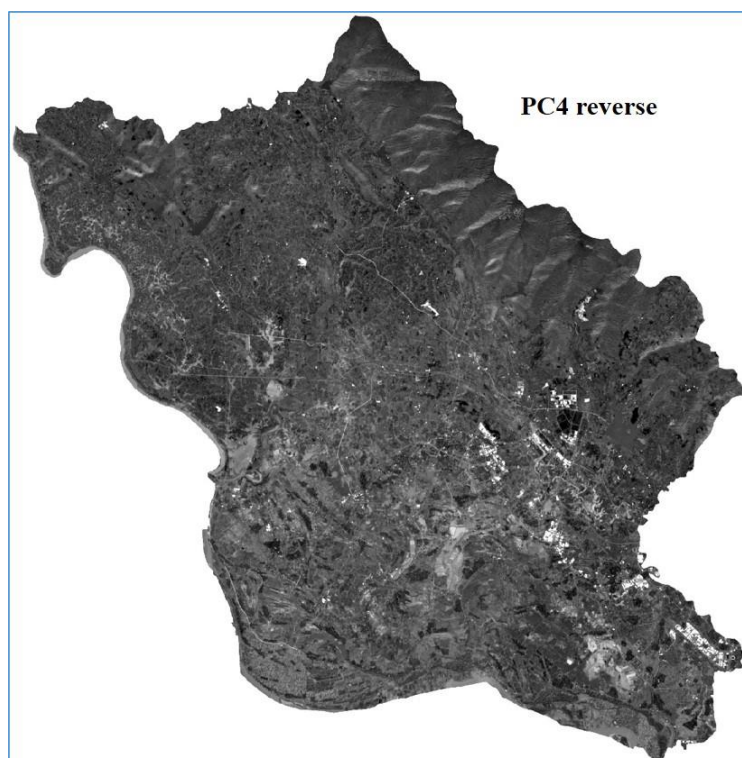


Fig.4. PC4 reverse, bright pixels represent the hydroxyl-bearing minerals

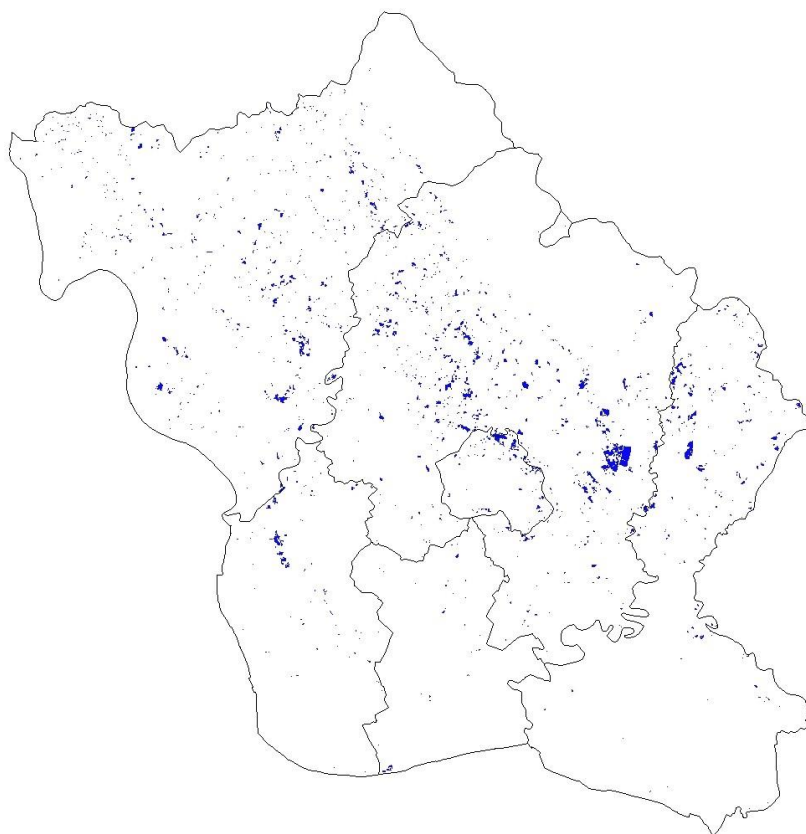


Fig. 5. Results of mapping the hydroxyl-bearing minerals (blue color) in Vinh Phuc province using Sentinel-2B image

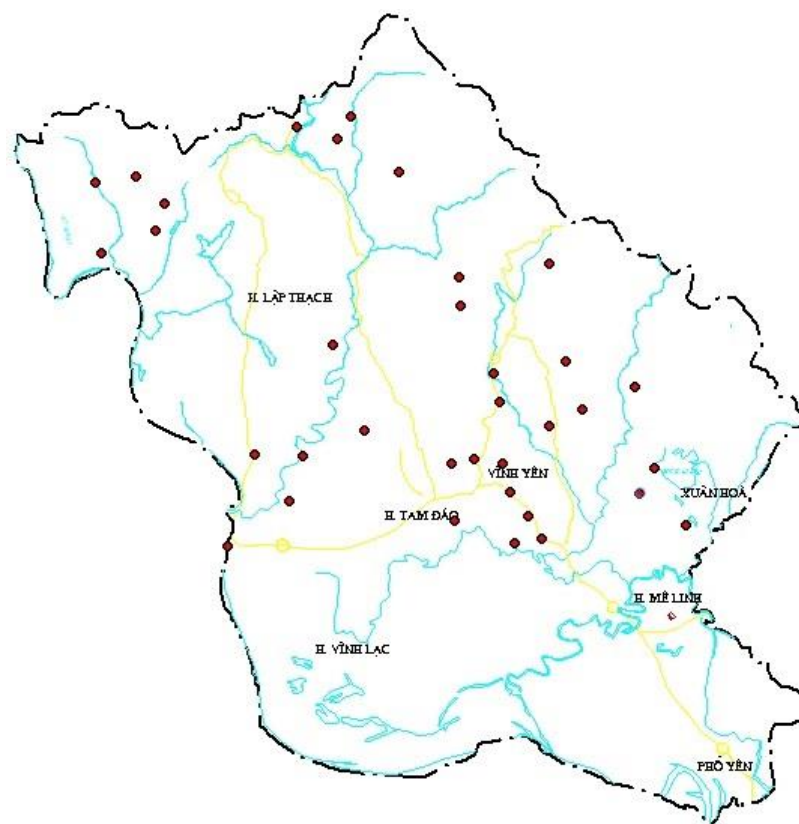

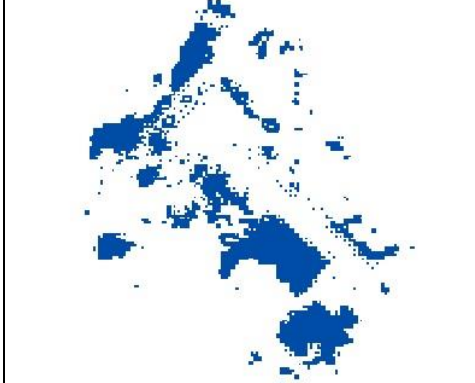

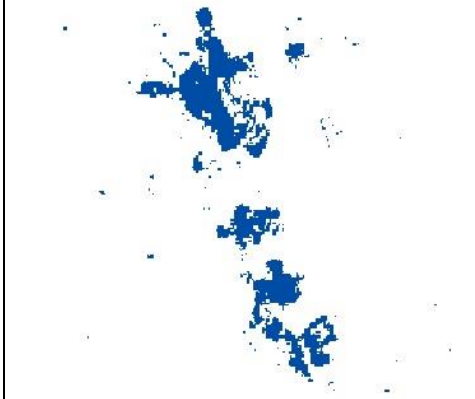




Fig. 6. Mineral distribution map of Vinh Phuc province [20]

Table 4

**Hydroxyl-bearing minerals in mines of Vinh Phuc province (northern Vietnam)
and results of mapping based on the Sentinel-2B data**

Mine name	Hydroxyl-bearing minerals on Sentinel 2B image	Results of mapping based on Sentinel-2B data
Nhan Ly pegmatite mine		
Dong Dao sedimentary rock mine		
Xuan Hoa sedimentary rock mine		

CONCLUSION

This study attests to the significance and advantages of the application of Sentinel-2 MSI data to detect and map hydrothermal alteration zones. The Sentinel-2B MSI image produced on December 5, 2019 was analyzed to map spatial distribution of hydroxyl-bearing minerals in Vinh Phuc province (northern Vietnam). Four Sentinel-2B MSI bands (2, 8A, 11 and 12) were used to calculate Principal Components, and then select the

Principal Component which contains the basic information of hydroxyl-bearing minerals. The 4th Principal Component clearly identifies the area comprising hydroxyl-containing altered minerals in this region. The results obtained in this study show that the Sentinel-2 MSI image with spatial resolution exceeding that of Landsat image can be effectively used in mapping hydrothermal mineral distribution.



References

1. Abrams M. J. Remote sensing of porphyry copper in Southern Arizona. *Economic Geology*. 1983;78:591–604.
2. Crosta A. P., Moore J. M. Enhancement of LANDSAT Thematic Mapper imagery for residual soil mapping in SW Minas Gerais State Brazil: a prospecting case history in greenstone belt terrain. *Proceedings of the 9th Thematic Conference on Remote Sensing for Exploration Geology*. Calgary (Ann Arbor, MI: Environmental Research Institute of Michigan); 1989. P. 1173–1187.
3. Clark R. N., Swayze G. A., Wise R., Livo K. E., Hoefen T. M., Kokaly R. F., Sutley S. J. USGS Digital Spectral library, USGS Open file Rep; 1989.
4. Fongaro C., Dematte J., Rizzo R., Safanelli J., Mendes W., Dotto A., Vicente L., Franceschini M., Ustin S. Improvement of Clay and Sand Quantification Based on a Novel Approach with a Focus on Multispectral Satellite Images. *Remote Sensing*. 2018;10(10):1555. DOI: 10.3390/rs10101555.
5. Fraster S. J., Green A. A. A software defoliant for geological analysis of band ratio. *International Journal of Remote Sensing*. 1997;8:525 – 532.
6. Hu B., Xu Y., Wan B., Wu X., Yi G. Hydrothermally altered mineral mapping using synthetic application of Sentinel-2A MSI, ASTER and Hyperion data in the Duolong area, Tibetan Plateau, China. *Ore Geology Reviews*. 2018;101:384 – 397.
7. Hunt G. R., Ashley R. P. Spectra of altered rocks in the visible and near infrared. *Economic Geology*. 1979;74:1613-1629.
8. Kaufman H. Mineral exploration along the Agaba-Levant structure by use of TM-data concepts, processing and results. *International Journal of Remote Sensing*. 1988;9:1630-1658.
9. Lobo F., Souza-Filho P., Novo E., Carlos F., Barbosa C. Mapping mining areas in the Brazilian Amazon using MSI/Sentinel-2 imagery (2017). *Remote Sensing*. 2018;10:1178. DOI: 10.3390/rs10081178.
10. Loughlin W. P. Principal component analysis for alteration mapping, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 1991;57(g):1163–1169
11. Mahboob M., Genc B., Celik T., Ali S. Atif I. Mapping hydrothermal minerals using remotely sensed reflectance spectroscopy data from Landsat. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 2019;119(3):279-289.
12. Mia M.B., Fujimitsu Y. Mapping hydrothermal altered mineral deposits using LANDSAT 7 ETM+ image in and around Kuju volcano, Kyushu, Japan. *Journal Earth System Science*, 2012;121(4):1049 – 1057.
13. Mielke C., Bosche N., Rogass C., Segl K., Cauert C., Kaufmann H. Potential applications of the Sentinel-2 multispectral sensor and the Enmap hyperspectral sensor in mineral exploration. *EARSeL e Proceedings*. 2014;13:93-102.
14. Pahlevan N., Sarkar S., Franz B., Balasubramanian S., He J. (2017). Sentinel-2 MultiSpectral Instrument (MSI) data processing for aquatic science applications: Demonstrations and validations. *Remote Sensing of Environment*. 2017;201:47–56.
15. Pour A. B., Park T., Park Y., Hong J., Zoheir B., Pradhan B., Ayoobi I., Hashim M. Application of Multi-Sensor Satellite Data for Exploration of Zn–Pb Sulfide Mineralization in the Franklinian Basin, North Greenland. *Remote Sensing*. 2018;10(8):1186. DOI:10.3390/rs10081186.
16. Trinh L. H. (2016). Application of remote sensing technique to detect and map iron oxide, clay minerals and ferrous minerals in Thai Nguyen province, *Mining Science and Technology*, Vol. 1, 60 – 66.
17. Trinh L. H., Zablotskii V. R. The Method of Detection of Clay Minerals and Iron Oxide Based on Landsat Multispectral Images (as Exemplified in the Territory of Thai Nguyen Province, Vietnam). *Mining Science and Technology (Russia)*. 2019;4(1):65-75.
18. Van der Meer F. D., van der Werff H. M. A., van Ruitenbeek F. J. A. Potential of ESA's Sentinel-2 for geological applications. *Remote Sensing of Environment*. 2014;148:124-133.
19. Vinh Phuc Portal. Available from: www.vinhphuc.gov.vn.
20. Center for information, archives and geological journals. Available from: <http://idm.gov.vn>.

ORIGINAL PAPERS

DOI: 10.17073/2500-0632-2019-4-318-325

Scientific and Educational Cooperation between Russia and Germany. Results of 2019

V. L. Petrov, V. S. Komarov

National University of Science and Technology “MISiS” (NUST MISIS), Moscow, Russia

Abstract: The launch of the Russian-Germany interstate project (the Russian-German Year of Scientific and Educational Cooperation 2018-2020) sets new requirements for the agenda formation for interstate cooperation in the field of education and science. The “Russian-German Roadmap for Cooperation in Education, Science, Research and Innovation” (the Roadmap) defines new opportunities for expanding cooperation between states in the educational and research fields, as well as developing economical innovations. The key directions of the cooperation are: “Large research infrastructure”, “Priorities”, “Young talents”, “Innovations, science and society”. The expansion of bilateral cooperation on a wide range of topics, the development of large research infrastructures and joint research projects in particular, will be carried out in the areas that are priority for both countries. By means of the Roadmap, young scientists should be supported, and the academic mobility of researchers, students and postgraduate students should be increased. It is also planned to enhance the transfer of research results to the real economy, as well as increase the advanced innovative business involvement in the partnership. One of the tasks that the organizers of the year face, is to create conditions for the public presentation of specialized events, as well as the dissemination of cooperation practices in the academic environment. For this purpose, a special website to gather the information from participants and organizers of events implemented in both countries, was launched (<https://russia-germany-cooperation.ru>). The inclusion of innovative business in the year’s action field will create conditions for the formation of joint teams, both in the academic and professional environment, aimed at tackling new problems of states economies' innovative development.

Keywords: Russia, Germany, Russian-German Year of Scientific and Educational Cooperation 2018–2020, science, education, innovations, universities, scientific projects, educational programs, scientists, students.

For citation: Petrov V. L., Komarov V. S. Scientific and Educational Cooperation Between Russia and Germany. Results of 2019. *Gornye nauki i tekhnologii = Mining Science and Technology (Russia)*. 2019;4(4):318-325. (In Russ.). DOI: 10.17073/2500-0632-2019-4-318-325.

Introduction

Russia and Germany have a rich tradition of cooperation in higher education and science, which forms Russian-German relations. In 2000, Russia and Germany declared a new stage of relations, based on a policy of strategic partnership. Many projects, implemented under this policy, have become historical and have made a significant contribution to the development of relations between countries. As an example, one can name such projects as the German-Russian public forum “Petersburg dialogue”, a global partnership

program that was launched in 2002 by the G8 initiative. Considering Germany as the leader of the European Union, Russia has always formed a special agenda for the development of political, economic and intercultural dialogue with Germany.

It should be noted that scientists from different subject areas pay great attention to the study of aspects of cooperation between Russia and Germany, highlighting not only the project facts and event statistics, but also the results obtained on the basis of a scientific approach and the application of scientific knowledge methods in





this area [1-7]. As a result, one can observe a diverse cooperation between the two sides, each playing its unique role in the intercultural dialogue [8].

1. Russian-German Year of Scientific and Educational Partnership 2018-2020

In 2018, relations between Russia and Germany moved to the next level, when the Russian-German Year of Scientific and Educational Partnership 2018-2020 (the Cross-Year) was opened on December 6 by a joint statement of the Foreign Minister of Russia Sergey Lavrov and the German Minister of Foreign Affairs Heiko Maas.

The aim of the Cross-Year is to attract more attention to bilateral scientific relations and give them a new impetus, to stimulate further development of cooperation and interaction between universities and representatives of the scientific community, making it more transparent, and to promote international exchange of students, researchers and teaching staff.

In December 2018, the Ministers of Education and Science of Russia and Germany signed the “Russian-German Roadmap for Cooperation in Education, Science, Research and Innovation”, the main task of which was to create new opportunities for expanding cooperation between the countries in the educational and research fields, as well as to develop economical innovation [9].

The bilateral Roadmap is designed for 10 years and sets new criteria for German-Russian cooperation in the field of education and research. The Roadmap encompasses 4 directions: “Large research infrastructure”, “Priorities”, “Young talents”, “Innovations, science and society”.

This comprehensive document is aimed at expanding bilateral cooperation on a wide range of topics, in particular, in the development of large research infrastructures, joint research projects in the areas that are priority for both countries. By means of the Roadmap, young scientists should be supported, and the academic mobility of researchers, students and postgraduate students should be increased. It is also planned to enhance the transfer of research results to the real economy, as well as increase the advanced innovative business involvement in the partnership.

2. Role of the academic community in scientific and educational partnership of Russia and Germany. Institutions of self-government

Undoubtedly, the academic community, represented by leading universities and research centers, plays the key role in implementing the roadmap. They have historical experience and big potential in implementing joint projects and establishing international research teams [10-13]. At the same time, the scale and significance of the implemented scientific and educational projects have determined the formation of large funds which coordinate the development of educational and scientific cooperation.

The project cooperation is based on a network of agreements and cooperation projects between key Russian and German centers of science and education, among which the following can be distinguished [13-19]:

1. Scientific cooperation between the German Research Foundation (DFG), the Russian Academy of Sciences (RAS) and the Russian



Foundation for Basic Research (RFBR). DFG, being the main organization of scientific self-government in Germany, provides comprehensive support for research in higher education and has a significant historical experience of interaction with the Russian academic community. For instance, in 2002, more than 500 scientists from Russia and Germany took part in exchange programs with the financial support of the German research community. To a certain extent, DFG demonstrates new mechanisms of public-governmental management of research funding, establishing the practice of scientific self-management, as well as R&D organizational and process management [13, 14].

2. Cooperation of Russian science institutions with the Max Planck Institute for Astrophysics (MPG). MPG is a non-commercial research organization. It includes about 80 research organizations that mainly do fundamental research, and also implement projects aimed at establishing “centers of excellence” [13, 15].

3. Collaboration with the Fraunhofer Society in support of applied research. The Fraunhofer Society is the German leading organization in the field of applied research. Much of this research is innovative. The society unites almost 50 research institutions. The main research areas of the Fraunhofer Society are: materials, production, information, communication, testing, chemical, energy technologies, as well as microelectronics [13, 16].

4. Cooperation with institutions of the Helmholtz Association of German Research Centers (HGF). HGF unites 16 German research institutions. Its activities are mainly funded by the

federal and land budgets. The key research directions are: natural, technical, and biomedical sciences. The key areas are: energy, fundamental physics, transport, aviation and space, IT, Earth sciences, biotechnology and medicine, as well as various environmental studies and technologies [13, 17].

5. Cooperation with the German Academic Exchange Service (DAAD). Founded in 1925, DAAD is an association of higher education institutions and students in Germany. The main aim of DAAD is to promote international academic exchange. As a National agency and advisory body, it is included in European ERASMUS/TEMPUS programs. All in all, DAAD implements over 100 different programs, providing support to students and university graduates, teaching staff and scientists from Germany, as well as from several other countries [13, 18].

6. Cooperation with the Alexander von Humboldt Foundation. It was established in 1860, and for a long time was engaged in organizing international trips of German scientists, and then providing scholarships to foreign scientists, including those from Russia. In addition, the Foundation awards world-renown international researchers with grants to support their scientific work directly in Germany [13, 19].

A comparable network of Russian organizations is also quite representative:

1. Rossotrudnichestvo, the Federal Agency for the Commonwealth of Independent States, Compatriots Living Abroad and International Humanitarian Cooperation, founded in 1925. Thanks to a wide network of Russian centers, Rossotrudnichestvo promotes cultural cooperation and the



spread of the Russian language. At the same time, Rossotrudnichestvo is the Russian contact point for independent national friendship societies in these countries.

At the same time, the Agency is represented by 74 Russian centers in Europe, America, Asia and Africa. Russian House of Science and Culture in Berlin is among them.

2. The Russian Science Foundation (RSF) was established on November 2, 2013. RSF promotes fundamental research projects within the concept of the highest achievements in certain areas. RSF is one of the most important institutions promoting development in Russia.

3. The Russian Foundation for Basic Research (RFBR) was established in 1992. The Foundation promotes the development of specific targeted research projects in all areas of fundamental research. Since 2016, RFBR has been promoting projects in the humanities and social sciences.

4. The Foundation for Assistance to Small Innovative Enterprises (FASIE), established in 1994. The main aims are:

- stimulating the development of small innovative enterprises in science and technologies;
- financial and administrative support for small innovative enterprises in research and development projects;
- creation and development of infrastructure to support small innovative enterprises in science and technologies.

University cooperation between Russia and Germany has a long tradition. At the same time, it

is constantly expanding due to the active participation of teaching staff, students, managers and university employees. In both countries, university partnerships are seen as a key strategic element in developing scientific cooperation. It is also an effective way to enhance their international attractiveness for learning and research. Thanks to universities cooperation, joint training of specialists also makes a significant contribution to the formation of sustainable partnerships in all spheres of society.

Currently, about 980 joint university partnerships are represented on the Internet platform “International cooperation” of the German Rectors' Conference (HRK). 203 German universities, 233 Russian universities and 33 organizations with other status participate in them. Thus, Russia is at the 9th place in the number of partnerships [20].

The most important areas of international cooperation between Russian and German universities include student and academic mobility, international cooperation in teaching and research, as well as international cooperation in institutional development.

3. Cooperation in the field of the cutting-edge research

Higher education institutions and research organizations in Russia and Germany cooperate in various research fields, achieving international recognition of the scientific community. Cutting-edge research is considered the key to innovation and development in both countries. In Russia, the development of advanced research is part of the



Strategy for Research and Technology Development till 2020, as well as the National Technology Initiative. The Agreement on Scientific and Technical Cooperation (STC) includes establishing partnerships between universities, non-university research institutions and scientific organizations, the intensification of bilateral cooperation in the field of innovation-oriented research between Russian and German enterprises, cooperation in the field of professional education, young scientists exchange, and the promotion of joint research and innovation structures.

Russia and Germany support large-scale research infrastructure, for instance, through international non-governmental organizations such as the Joint Institute for Nuclear Research (JINR) and the European Organization for Nuclear Research (CERN). Cooperation is also being developed within the framework of the European X-Ray Free-Electron Laser Facility (European XFEL) and the Facility for Antiproton and Ion Research (FAIR) projects implemented in Germany. In the near future, cooperation will begin in the framework of the Nuclotron-based Ion Collider Facility and the International Center for Neutron Research based on a high-flow PIK reactor, located on the territory of Russia.

4. Partnership practice of 2019

From the Russian side, the National University of Science and Technology "MISIS" is the operator of the Russian-German Year of Scientific and Educational Cooperation. One of the tasks that the operators of the year face, is to cre-

ate conditions for the public presentation of specialized events, as well as the dissemination of cooperation practices in the academic environment.

For this purpose, a special website to gather the information from participants and organizers of events implemented in both countries was launched (<https://russia-germany-cooperation.ru>). The examples of such significant events are:

4.1 The 35th anniversary of cooperation between Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University and the Leibniz University Hannover.

In 2019, the Leibniz University Hannover and Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University celebrated the 35th anniversary of cooperation and took part in two joint conferences "Cyber-physical systems and management" and "High-speed turbomachines and electric drives", as well as a seminar "Digitalisierung der Hochschulen". Currently, two joint master's programs and a trilateral master's program with the Lappeenranta-Lahti University of Technology LUT (Finland), research projects, and exchange of students, teachers, and researchers are being actively developed.

4.2. The 9th Russian-German Young Scientist Week (September 23-27, 2019, Moscow). Organizers: Lomonosov Moscow State University, DWIH, DFG, DAAD.

The main goal of this event is to promote the network expansion and strengthen the cooperation of young scientists. The event was attended by postgraduate students, young scientists, and professors, invited to present and discuss their research projects in the field of quantum science.



4.3. German-Russian musical dialogue (April 2019, the State Academic Chapel of St. Petersburg, Moika river embankment, 20). Organizer: Choir of the St. Petersburg Rimsky-Korsakov State Conservatory, Europe-Choir of Berlin, Choir of the Freiberg Higher School of Music, symphony orchestra “Youth Ensemble of Berlin”.

4.4. Youth concert project “German-Russian Musical Dialogue”, which was successfully launched on January 13, 2019 in the Berliner Philharmonie. The second concert of the project was held on the stage of the State Academic Chapel of St. Petersburg, famous for the traditions of the Russian composers. More than 160 young musicians from four Russian and German ensembles played music by Tchaikovsky and Stravinsky, Brahms and Schumann.

4.5. Cooperation in the field of artificial intelligence (May 28, 2019, Lomonosov Moscow State University). Organizers: Ministry of Culture and Science of North Rhine-Westphalia, the German House of Science and Innovation (DWIH) and Lomonosov Moscow State University.

The talk was performed in the National Center for Digital Economy of Lomonosov Moscow State University. The event was organized by the representative office of the Ministry of Culture and Science of North Rhine-Westphalia (NRW), the German House of Science and Innovation (DWIH) and the Center for Digital Economy of Lomonosov Moscow state University. The talk was opened by academician Igor Osipov (Lomonosov Moscow State University), Ekaterina Karpushenkova (NRW) and Mikhail Rusa-kov (DWIH). After the key reports of Alexander

Panov from the Moscow Institute of Physics and Technology and Thomas Gris from RWTH Aachen University, a scientific talk was held. Leading scientists from RWTH Aachen University (German side) and from Lomonosov Moscow State University, the Moscow Institute of Physics and Technology, Bauman Moscow State Technical University and the Russian Academy of Sciences presented their approaches to research and development in the field of artificial intelligence and discussed prospects for cooperation.

Russian and German scientists agreed that the development of artificial intelligence technologies requires an interdisciplinary international approach. Possible areas of cooperation include joint development of artificial intelligence technologies for medicine, production automation, phenomena and processes forecasting, as well as for other artificial intelligence applications.

4.6. Russian-German Forum of University Science (December 2, 2019, Moscow, the National University of Science and Technology “MISIS”). Organizers: the Ministry of Foreign Affairs of the Russian Federation, the Federal Foreign Office of Germany, the Ministry of Science and Education of the Russian Federation, the German Academic Exchange Service (DAAD), German House of Science and Innovations in Moscow, the National University of Science and Technology “MISIS”. The forum united representatives of Russian and German university and academic communities. The scientific and educational sector of Germany was represented by both a large delegation of young researchers and world-renown scientists. Among the Russian participants were rectors and representatives of



the innovation sector, the Russian Academy of Sciences, the Kurchatov Institute, and the Joint Institute for Nuclear Research. The forum was attended by scientists, young researchers and experts from both Moscow and regional universities.

At the forum, Russian and German experts discussed the relationship between university and academic science, ways to support international scientific and technical cooperation, and the internationalization of the university research sector. A special session of the forum was devoted to discussing the further implementation of the “Russian-German Roadmap for Cooperation in Education, Science, Research and Innovation”.

Conclusion

The development of relations between Russia and Germany is determined by the historical

experience of interaction in the field of education and science, which contributes to the intercultural dialogue between the countries. This interstate project – the Russian-German Year of Scientific and Educational Cooperation 2018–2020 – will strengthen cooperation between Russian and German institutes that implement and manage scientific research, as well as between research organizations and universities.

The inclusion of innovative business in the year’s action field will create conditions for the formation of joint teams, both in the academic and professional environment, aimed at tackling new problems of states economies' innovative development.

References

1. Chivvis C. S., Rid T. The roots of Germany's Russia policy. *Survival*. 2009;51(2):105-122. DOI: 10.1080/00396330902860850.
2. Schröder H. H. Russia in Europe remarks on the discussion of policy towards Russia [Russland in Europa: Randbemerkungen zur deutschen Russiandebatte]. *Osteuropa*. 2013;63(8):107-114.
3. Haukkala H. *The EU-Russia Strategic Partnership: The Limits of Post-Sovereignty in International Relations*. 2010. P. 1-249. DOI: 10.4324/9780203856444.
4. Makarychev A., Meister S. *The modernization debate and Russian-German normative cleavages*. *European Politics and Society*. 2015;16(1):80-94.
5. Romanova T., Pavlova E. What Modernisation? The Case of Russian Partnerships for Modernisation with the European Union and Its Member States. *Journal of Contemporary European Studies*. 2014. DOI: 10.1080/14782804.2014.954530.
6. Pavlov N. V. *Germany-Russia-Eu: Triangle of cooperation or contradictions? World Economy and International Relations*. 2019;63(5):67-75. DOI: 10.20542/0131-2227-2019-63-5-67-75.
7. Belov V. The digital agenda of Russian-German economic cooperation. *Sovremennaya Evropa*. 2018;(2):120-128. DOI: 10.15211/soveurope22018120128.
8. Röhrkasten S., Westphal K. Energy security and the transatlantic dimension: A view from Germany. *Journal of Transatlantic Studies*. 2012;10(4):328-342. DOI: 10.1080/14794012.2012.734669.
9. "Russian-German Roadmap for Cooperation in Education, Science, Research and Innovation" Available from: https://minobrнауки.gov.ru/ru/press-center/card/?id_4=1647. (In Russ.).
10. Akulshina A. V., Zavialova L. A. Internationalization of higher education: International vector of the university development strategy. *Vysshee Obrazovanie v Rossii*. 2018;27(8-9):117-125. DOI: 10.31992/0869-3617-2018-27-8-9-117-125.
11. Gabaraev O. Z., Sokolova E. A., Balikoeva M. I. Erasmus Project implementation in mining universities. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2018;10(1):149-152. DOI: 10.21177/1998-4502-2018-10-1-149-152.
12. Khoroshun N. D. Geo-economic interests of Russia and Germany in the field of industry. *Asian Social Science*. 2015;11(6):118-126. DOI: 10.5539/ass.v11n6p118.
13. Belov V. Russia and Germany: scientific and educational cooperation. *Sovremennaya Evropa*, 2004;3(19). (In Russ.).



14. *German Research Foundations (DFG) – Deutsche Forschungsgemeinschaft*. Available from: <https://www.dfg.de>.
15. *Max Planck Society*. Available from: <https://www.mpg.de>.
16. *Fraunhofer-Gesellschaft*. Available from: <https://www.fraunhofer.de>.
17. *Helmholtz Association of German Research Centers*. Available from: <https://www.helmholtz.de>.
18. *DAAD*. Available from: <https://www.daad.de>.
19. *Humboldt Foundation*. Available from: <http://www.humboldt-foundation.de>.
20. *HRK website*. Available from: www.hochschulkompass.de.