

Код МРНТИ 52.13.15

М.Ж. Битимбаев¹, *Е.Х. Абен², Х.А. Юсупов²¹Национальная инженерная академия Республики Казахстан (г. Алматы, Казахстан),
²Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

РАЗВИТИЕ ТЕОРИИ СОЗДАНИЯ ПРИРОДОПОДОБНЫХ КОМБИНИРОВАННЫХ ГЕОТЕХНОЛОГИЙ И ВОЗМОЖНОСТИ ИХ ПРАКТИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ

Аннотация. В результате нарастания негативных процессов, сопровождающих прогрессивное развитие цивилизации, естественное природное равновесие оказалось на грани экологической катастрофы. Около 10% суши уже занято урбанизированными территориями, все больше обостряется проблема получения чистой воды. Но наиболее быстрыми темпами происходит разрушение литосферы при добыче минерального и энергетического сырья и стройматериалов. В этих условиях возможности сохранения первичной биоты в границах общей экологической безопасности будет связана также и с характером развития процессов ее самовосстановления в постэксплуатационный период существования предприятия. На современном этапе развития горных наук единственной реальной возможностью выхода из порочного круга экстенсивного развития является разработка повсеместно проектных решений комплексного освоения недр комбинированными геотехнологиями.

Ключевые слова: месторождение, полезные ископаемые, природоподобные геотехнологии, комплексное освоение, комбинированная разработка, принципы превентивности, физико-техническая геотехнология.

Табиғат ұқсас аралас геотехнологияларды құру теориясын дамыту және оларды практикалық іске асыру мүмкіндіктері

Андатпа. Өркениеттің прогрессивті дамуымен бірге жүретін жағымсыз процесстердің өсуі нәтижесінде табиғи тепе-теңдік экологиялық апаттың алдында тұрды. Құрлықтың шамамен 10% урбанизацияланған аумақтар алып жатыр, таза су алу мәселесі күшейе түсуде. Бірақ ең жылдам қарқынмен минералды және энергетикалық шикізат пен құрылыс материалдарын өндіру кезінде литосфераның бұзылуы орын алады. Бұл жағдайда жалпы экологиялық қауіпсіздік шекараларында бастапқы биотаны сақтау мүмкіндігі кәсіпорынның эксплуатациядан кейінгі кезеңінде оның өзін-өзі қалпына келтіру процесстерінің даму сипатымен де байланысты болады. Тау-кен ғылымдарының қазіргі дамуында экстенсивті дамудың тұйық шеңберінен шығудың жалғыз нақты мүмкіндігі-аралас геотехнологиялармен жер қойнауын кешенді игерудің барлық жерде жобалық шешімдерін әзірлеу.

Түйінді сөздер: кен орны, пайдалы қазбалар, табиғатқа ұқсас геотехнологиялар, кешенді игеру, аралас игеру, алдын алу қағидағдары, физико-техникалық геотехнология.

Development of the theory of creating natural-like combined geotechnologies and the possibility of their practical implementation

Abstract. As a result of the increase in negative processes accompanying the seemingly progressive development of civilization, the natural balance of nature was on the verge of an ecological catastrophe. About 10% of the land is already occupied by urbanized territories, the problem of obtaining clean water is becoming more and more acute. But the destruction of the lithosphere occurs most rapidly during the extraction of mineral and energy raw materials and building materials. In these conditions, the possibility of preserving the primary biota within the boundaries of general environmental safety will also be related to the nature of the development of its self-healing processes in the post-exploration period of the enterprise's existence. At the present stage of development of mining sciences, the only real way out of the vicious circle of extensive development is the development of design solutions for integrated development of mineral resources by combined geotechnologies everywhere.

Key words: deposit, minerals, nature-like geotechnologies, integrated development, mining, combined development, principles of prevention, physical and technical geotechnology, upstream mining, physical and chemical geotechnology.

Введение

Поставленные академиком АН СССР Н.В. Мельниковым в конце 60-х годов прошлого столетия научные проблемы [1] получили дальнейшее развитие в известных трудах академика АН СССР М.И. Агошкова¹ и академика РАН К.Н. Трубецкого^{2,3}. Проблемы были определены как необходимость при любом стечении природных и техногенных обстоятельств использовать содержание каждого конкретного месторождения (рудного тела) экономически эффективно, максимально полно, экологически безопасно. Такое использование

ресурсов земных недр может быть достигнуто на основе сочетания различных способов и технологий их освоения. Комплексное освоение недр при этом должно рассматриваться как система взаимодействующих действий, не противоречащих друг другу технологически, конструктивно обеспечивающих максимальное вовлечение в хозяйственный оборот как всего извлеченного из литосферы вещества, так и всего пространственного ресурса, образованного внутри объема извлеченного вещества.

В этом аспекте развития процесса комплексного освоения недр

можно узреть узел новых проблем, связанных с созданием применяемых физико-технических геотехнологий (ФТГ). Они имеют своей отправной точкой применяемый практически повсеместно механический (буровзрывной) способ отделения массива, содержащего добываемые полезные компоненты. Этот отделяемый массив мы называем «рудой», в которой содержится некоторое количество полезных компонентов. Такая технология имеет существенные недостатки, вызываемые механическим способом изъятия всей массы руды из окружающего массива.

¹Агошков М.И. Развитие идей и практики комплексного освоения недр. – М.: ИПКОН АН СССР, 1982. – 25 с.

²Трубецкой К.Н., Галченко Ю.П. Природоподобная технология комплексного освоения недр: проблемы и перспективы. – М.: ООО «Научтехлитиздат», 2020. – 368 с.

³Трубецкой К.Н., Галченко Ю.П. Геоэкология освоения недр и экогеотехнология разработки месторождений. – М.: ООО «Научтехлитиздат», 2015. – 360 с.

Изучая и анализируя применяемые геотехнологии, определяемые функциональной триадой «знание – умение – результат» («наука – технология – продукт»), мы находим новые направления развития технологий освоения недр. Часто применяемое ныне словосочетание «природоподобные» технологии [2-4] определяет, какие новые пути целенаправленного преобразования технологий мы намерены найти на основе знаний о живой природе. Мы знаем, что технология представляет собой «...практическое применение знания для создания методов производственной деятельности...». Тогда, с технологической точки зрения, «природоподобными» следует считать технологии, создание и развитие которых происходит на основе знаний о живой природе. Это понятие по внутреннему содержанию технологий логически можно разделить на две части: поиски «природоподобных» решений для технологий, имеющих аналоги в живой природе; поиски «природоподобных» решений для технологий, не имеющих аналогов в живой природе.

В первом случае речь идет о том, что инновационное развитие определенной группы технологий основано на приближенном дублировании уже существующих в природе процессов. Такие технологии можно назвать природовоспроизводящими.

Второй же тип «природоподобных» технологий – это конвергентные, у которых антропогенные процессы взаимодействуют между собой в биоподобной функциональной структуре².

Идея о возможности создания таких технологий для разработки твердых полезных ископаемых была впервые выдвинута в Институте проблем освоения недр РАН, когда была разработана и подтверждена гипотеза о том, что уровень экологической безопасности техногенных геосистем по отношению к системам биологическим пропорционален степени единобразия принципов функционирования обеих систем [3].

Методы исследований

Учитывая антагонистический характер противоречий между

техногенным миром и биосферой, методику решения проблемы целесообразно строить на основных положениях о способах поддержания жизненно важных параметров взаимодействующих систем путем управления противоречиями.

В данной интерпретации, применительно к рассматриваемой проблеме экологической безопасности и полноты освоения недр, в качестве «антагонистов» выступает естественная живая природа Земли (биота) и технократическая цивилизация людей (человек),

извлекающая из литосферы Земли сырье. Блок-схема гомеостатического регулирования отношений между ними с целью построения природно-технической системы, в которой разрешены противоречия между природной средой (биотой) и техносферой, приведен на рис. 1.

«Природоподобность» применяемых геотехнологий должна осуществляться путем рассмотрения имеющихся подобий при изъятии полезных компонентов из недр массива месторождения. Применяемые ФТГ подземной разработки



Рис. 1. Методология гомеостатического регулирования в природно-технической системе с соблюдением паритета интересов.

Сурет 1. Мүдделер паритетін сақтай отырып, табиғи-техникалық жүйеде гомеостатикалық реттеу әдістемесі.

Figure 1. Methodology of homeostatic regulation in the natural-technical system with respect to parity of interest.



Рис. 2. Принципиальная схема формирования конвергентной горной технологии, приближенной к деятельности живой природы.

Сурет 2. Жабайы табиғат қызметіне жақын конвергентті тау-кен технологиясын қалыптастырудың негізгі схемасы.

Figure 2. Schematic diagram of the formation of convergent mining technology, close to the activities of wildlife.

в традиционном виде с нисходящим развитием горных работ («сверху вниз») не могут быть приближены к «природоподобным». Причин тому несколько, и они начинаются с буровзрывного способа изъятия руды из недр, который является первопричиной и катализатором всех последующих недостатков ФТГ. Эти недостатки усиливаются нисходящим способом развития подземных горных работ, способствуют повышенному углеродному балансу, значительным потерям полезных компонентов, повышению себестоимости и снижению производительности труда вследствие значительных объемов нерациональных породных работ.

Оценка такого положения из-за антагонистического противоречия между применяемой геотехнологией и естественной природной средой требует формирования биотехнологических принципов построения конвергентных горных технологий.

Глобальное сравнение недр Земли с организмом живого существа в случае создания «природоподобных» технологий как нельзя лучше способствует решению проблемы применением метода подобия живой и неживой природы.

Если допустить, что массив недр, определенный геологической разведкой, – живое существо, представляя его как лоно, нам становится логичным положение, что оно должно плодоносить, т. е. приносить человечеству пользу, когда мы используем из него только полезное содержимое. Полезные компоненты, т. е. химические элементы и их соединения, составляющие незначительную часть всего массива, должны изыматься как животворные плоды без применения массового разрушения с применением буровзрывных работ. В таком случае речь может идти только о физико-химической геотехнологии, которая может быть представлена выщелачиванием, выпариванием, возгонкой, газификацией [5, 6].

Если же будет применена физико-техническая геотехнология, то должен быть применен щадящий режим, который предусматривает развитие процесса добычи всего объема горной массы – руды – с развитием горных работ «снизу вверх» и заполнение выработанного пространства закладочным материалом, вскрытием без породных работ и устранением понятий потерь и разубоживания. Такие технологии представляют собой подобие роста живого организма с наполнением его питательными веществами.

Развивая эти положения применительно к особенностям разработки месторождений, можно переходить к созданию технологий, построенных на конвергенции знаний естественной и технической наук путем гомеостатического регулирования взаимодействия несовместимых компонентов природно-технических систем освоения минеральных ресурсов литосферы [4].

Форма реализации этого принципа в виде конкретных технологических решений полностью зависит от особенностей геологического строения месторождений. В первую очередь, здесь речь должна идти об использовании метода разделения рудных тел по их морфологическим признакам и горнотехническим условиям их залегания.

Можно выделить три основных морфологических типа рудных тел⁴: изометрические тела; уплощенные тела (пласты, жилы, линзы); вытянутые тела (трубообразные, столбовобразные, воронковидные). В каждом из этих морфологических типов рудных тел определяющее влияние на выбор горной технологии и определение ее параметров оказывают именно условия их залегания. В каждом конкретном случае следует оценивать сложность структуры как интегральное единство знаний об условиях их залегания.

Методика исследований должна быть направлена на создание нового геозкологического объекта – техногенно измененных недр,

включающих в себя зону полного разрушения литосферы при массовой полнообъемной добыче руды, и зону «геофизического экотона», в которой происходят изменения состояния материала литосферы без нарушения его сплошности [7].

Такой новый геозкологический объект может существовать как объединение в одной производственной единице обеих зон, так и две отдельные, независимые производственные единицы. Для каждого морфологического типа рудных тел эти зоны, характеризующие в новых геотехнологиях «природоподобность» разного уровня, могут быть применены в стадии проектирования в зависимости от принятого организационного решения.

Система расположения биотехнологических принципов формирования конкретных геотехнологий показана на рис. 2 и отражает иерархию их функциональной дифференциации по внутреннему содержанию.

Система действий и ограничений по оценке и преодолению биологических последствий техногенного нарушения исходит из определения понятия производственного кластера, как механизма концентрации усилий⁵. Каждый из этих кластеров состоит из нескольких монокластеров низшего порядка, формирующихся, в свою очередь, из функциональных систем различного назначения.

Таким образом, методология создания горной технологии как полнообъектного кластера строится в наиболее эффективном варианте на основе структуры гомеостата биологического с заменой его содержательных элементов на геотехнологические целевые аналоги.

Применение метода подобия между живой и неживой природой показывает путь к продолжению использования более эффективного решения в живой природе. Например, чтобы получить всеобъемлющий результат при использовании как физико-технических, так и физико-химических геотехнологий, в том числе комбинированных,

⁴Григорьев В.М., Оникенко Л.Д., Пилипенко Г.Н., Яковлев П.Д. *Лабораторный практикум по геологии полезных ископаемых.* – М.: Недр, 1992. – 172 с.

⁵Громько Ю.В. *Век МЕТА: современные деятельностные представления в социальной практике и общественном развитии.* – М.: Наука, 2016. – 506 с.

мы в обоих направлениях находим оптимальное решение при максимально возможном приближении к строению живого организма.

Вскрытие при ФТГ транспортными уклонами, проходящими по руде, развитие горных работ по очистной выемке восходящим способом, применение для выемки руды системы разработки горизонтальными слоями с закладкой – все эти новшества значительно улучшают технико-экономические показатели и при одноярусной, и при многоярусной отработке⁶.

То же самое можно подтвердить и при использовании физико-химической геотехнологии, когда для полного объема изъятия в раствор выщелачивающим агентом полезных компонентов из массива руды [8] мы создаем первоначально искусственную проницаемость в нем. Такой подход повторяет охват живого организма капиллярами, соединенными в более крупные кровеносные сосуды, которые сохраняют работоспособность живого организма при его целостности. Дальнейшим развитием «природоподобных» геотехнологий должно стать объединение в один производственный процесс геотехнологий и минералургии.

Результаты и их обсуждение

Говоря о достигнутых результатах, из практики освоения недр можно привести, как превосходные, такие примеры:

- отработка Миргалымсайского месторождения с разделением по

восстанию на два отдельных рудника, которые охватывали горными работами по простиранию до 10-11 км три яруса – рудник Верхний (Миргалымсайский), барьерный целик наклонный высотой 30 м в качестве промежуточного яруса и рудник Глубокий в качестве нижнего яруса;

- отработка запасов Жезкентского горно-обогачительного комбината горизонтальными слоями с закладкой и развитием горных работ восходящим способом;

- доработка запасов Гумешевского рудника на Урале подземным выщелачиванием с развитием полнообъемного изъятия полезных компонентов из массива через скважины и создание сети искусственных трещин для пропуска выщелачивающего раствора.

Заключение

1. Наилучшей эффективностью с точки зрения приспособленности к природной среде при техногенном вмешательстве человека в недра обладают геотехнологии, повторяющие или близкие к строению живого мира по своей конструкции и взаимодействию с окружающей неживой природой.

2. В этом смысле горные технологии можно разделить на три группы (для подземных горных работ):

- традиционные с нисходящим способом развития и буровзрывным разрушением массива месторождения;

- физико-технические комбинированные геотехнологии для всех

трех морфологических типов месторождений с восходящим способом развития горных работ;

- физико-химические комбинированные геотехнологии с изъятием полезных компонентов в виде химических элементов или их соединений без разрушения массива месторождения.

3. Следующим этапом развития этих групп с целью оптимально возможного уровня полноты и комплексности освоения недр являются создание и реализация технологий:

- с полным текущим циклом недропользования (она особенно важна для традиционных ФТГ);

- с единым объединенным производственным процессом геотехнологий и минералургии (она вполне возможна в образе «природоподобной» для физико-химических геотехнологий);

- с замкнутым экономически эффективным по кратности использованием металлов.

Научное обеспечение применения комбинированных ФТГ и физико-химических геотехнологий позволит реализовать варианты «природоподобных» геотехнологий на таких месторождениях Казахстана, как меднопорфировые Коксай и Айдарлы, комплексные медно-свинцово-баритово-серебряное Туоук, свинцово-цинково-кадмиево-серебряное Большой Озек, свинцово-цинково-серебряное Шалкия, а также золотой гигант Джеруй в Кыргызской Республике.

⁶Битимбаев М.Ж., Рысбеков К.Б., Крупник Л.А. и др. Способ подземной разработки рудных месторождений методом «снизу вверх». // Патент №6903: РГП «НИИС» РК от 25.02.2022 г.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Мельников М.В. Проблемы комплексного использования минерального сырья. // Горная наука и рациональное использование минерально-сырьевых ресурсов. – М.: Наука, 1978. – С. 5-15 (на русском языке)
2. Ковальчук М.В., Нарайкин О.С., Яцишина Е.Б. Конвергенция наук и технологий и формирование новой ноосферы. // Российские нанотехнологии. – 2011. – Т. 6. – №9-10. – С. 10-13 (на русском языке)
3. Reddy P.D., Jyer S., Sasikumar M. FATHOM: Среда технологического обучения (TEL) для развития дивергентных и конвергентных навыков мышления в разработке программного обеспечения. // IEEE 17-я Международная конференция по передовым технологиям обучения. – 2017. – С. 414-418 (на английском языке)

4. Ковальчук М.В., Нарайкин О.С. Природоподобные технологии – новые возможности и новые угрозы. // *Индекс безопасности*. – 2017. – Т. 22. – С. 103-108 (на русском языке)
5. Yusupov Kh.A., Rysbekov K.B., Aben Kh.Kh., Bakhmagambetova G.B. Повышение эффективности выщелачивания золота при изменении реологических свойств раствора. // *Научный вестник Национального горного университета*. – 2021. – №3. – С. 14-18 (на английском языке)
6. Yusupov Kh.A., Aleshin A.P., Bashilova E.S., Tsoy B.V. Применение перекиси водорода для интенсификации подземного выщелачивания урана. // *Обогащение руд*. – 2021. – №2. – С. 21-26 (на английском языке)
7. Трубецкой К.Н., Галченко Ю.П., Замесов Н.Ф. и др. Структура техногенно измененных недр. // *Вестник РАН*. – 2002. – Т. 72. – №11. – С. 969-975 (на русском языке)
8. Битимбаев М.Ж., Юсупов Х.А. Инновационные технологические схемы комбинированных геотехнологий с полным текущим циклом недропользования и замкнутым кратным использованием металлов. // *X Юбилейная Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы урановой промышленности»*. – Алматы, 2022. – С. 21-27 (на русском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Мельников М.В. Минералды шикізатты кешенді пайдалану мәселелері. // *Тау-кен ғылымы және минералды-шикізат ресурстарын ұтымды пайдалану*. – М.: Ғылым, 1978. – Б. 5-15 (орыс тілінде)
2. Ковальчук М.В., Нарайкин О.С., Яцишина Е.Б. Ғылымдар мен технологиялардың конвергенциясы және жаңа ноосфераның қалыптасуы. // *Ресейлік нанотехнология*. – 2011. – Т. 6. – №9-10. – Б. 10-13 (орыс тілінде)
3. Reddy P.D., Jyer S., Sasikumari M. FANTOM: Бағдарламалық жасақтаманы әзірлеуде дивергентті және конвергентті ойлау дағдыларын дамытуға арналған технологияны оқыту ортасы (TEL). // *Жетілдірілген оқыту технологиялары бойынша IEEE 17-ші халықаралық конференциясы*. – 2017. – Б. 414-418 (ағылшын тілінде)
4. Ковальчук М.В., Нарайкин О.С. Табиғатқа ұқсас технологиялар-жаңа мүмкіндіктер мен жаңа қауіптер. // *Қауіпсіздік индексі*. – 2017. – Т. 22. – Б. 103-108 (орыс тілінде)
5. Yusupov Kh.A., Rysbekov K.B., Aben Kh.Kh., Bakhmagambetova G.B. Ерітіндінің реологиялық қасиеттерін өзгерту арқылы алтынды сілтілеудің тиімділігін арттыру. // *Ұлттық тау-кен университетінің ғылыми хабаршысы*. – 2021. – №3. – Б. 14-18 (ағылшын тілінде)
6. Yusupov Kh.A., Aleshin A.P., Bashilova E.S., Tsoy B.V. Уранды жер асты шаймалауды күшейту үшін сутегі асқын тотығын пайдалану. // *Кендерді байыту*. – 2021. – №2. – Б. 21-26 (ағылшын тілінде)
7. Трубецкой К.Н., Галченко Ю.П., Замесов Н.Ф. және т. б. Техногендік өзгерген жер қойнауының құрылымы. // *РФА хабаршысы*. – 2002. – Т. 72. – №11. – Б. 969-975 (орыс тілінде)
8. Битимбаев М.Ж., Юсупов Х.А. Жер қойнауын пайдаланудың толық ағымдағы циклімен және металдарды тұйық бірнеше рет пайдаланумен біріктірілген геотехнологиялардың инновациялық технологиялық схемалары. // *X Мерейтойлық Халықаралық ғылыми-практикалық конференция «Уран өнеркәсібінің өзекті мәселелері»*. – Алматы, 2022. – Б. 21-27 (орыс тілінде)

REFERENCES

1. Melnikov M.V. Problemy kompleksnogo ispol'zovaniya mineral'nogo syr'ya. [Problems of complex use of mineral raw materials]. // *Gornaya nauka i racional'noe ispol'zovanie mineral'no-syr'evykh resursov = Mining science and rational use of mineral and raw resources*. – M.: Nauka = Science, 1978. – P. 5-15 (in Russian)
2. Kovalchuk M.V., Naraykin O.S., Yatsishina E.B. Konvergenciya nauk i texnologij i formirovanie novoj noosfery [Convergence of sciences and technologies and the formation of a new noosphere]. // *Rossijskie nanotexnologii = Russian Nanotechnologies*. – 2011. – Vol. 6. – №9-10. – P. 10-13 (in Russian)

3. Reddy P.D., Jyer S., Sasikumar M. *FATHOM: TEL Environment to Develop Divergent and Convergent Thinking Skills in Software Design*. // *JEEE 17th International Conference on Advanced Learning Technologies*. – 2017. – P. 414-418 (in English)
4. Kovalchuk M.V., Naraykin O.S. *Prirodopodobnye texnologii – novye vozmozhnosti i novye ugrozy [Nature like technologies - new opportunities and new threats]*. // *Indeks bezopasnosti = Security Index*. – 2017. – Vol. 22. – P. 103-108 (in Russian)
5. Yusupov Kh.A., Rysbekov K.B., Aben Kh.Kh., Bakhmagambetova G.B. *Increasing gold leaching efficiency with change of solution rheological properties*. // *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. – 2021. – №3. – P. 14-18 (in English)
6. Yusupov Kh.A., Aleshin A.P., Bashilova E.S., Tsoy B.V. *Application of hydrogen peroxide to intensify in-situ leaching of uranium*. // *Ore beneficiation*. – 2021. – №2. – P. 21-26 (in English)
7. Trubetskoy K.N., Galchenko Yu.P., Zamesov N.F., etc. *Struktura texnogenno izmenennyx nedr [The structure of technogenically altered subsurface]*. // *Vestnik RAN Bulletin of the Russian Academy of Sciences*. – 2002. – Vol. 72. – №11. – P. 969-975 (in Russian)
8. Bitimbayev M.Zh., Yusupov Kh.A. *Innovacionnye texnologicheskie sxemy kombinirovannyx geotexnologij s polnym tekushhim ciklom nedropol'zovaniya i zamknutym kratnym ispol'zovaniem metallov [Innovative technological schemes of combined geotechnologies with a full current cycle of subsurface use and closed multiple use of metals]*. // *X Yubilejnaya Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya «Aktual'nye problemy uranovoj promyshlennosti» = X Anniversary International Scientific and Practical Conference «Actual problems of the uranium industry»*. – Almaty, 2022. – P. 21-27 (in Russian)

Сведения об авторах:

Битимбаев М.Ж., д-р техн. наук, профессор, академик Международной инженерной академии, академик, член Президиума – главный научный сотрудник Национальной инженерной академии Республики Казахстан (г. Алматы, Казахстан), mbitimbayev@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0870-8591>

Абен Е.Х., канд. техн. наук, ассоциированный профессор кафедры «Горное дело» Горно-металлургического института им. О.А. Байконурова Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), y.aben@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0001-8537-229X>

Юсупов Х.А., д-р техн. наук, профессор кафедры «Горное дело» Горно-металлургического института им. О.А. Байконурова Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), yusupov_kh@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7682-5207>

Авторлар туралы мәліметтер:

Битимбаев М.Ж., техника ғылымдарының докторы, профессор, Халықаралық Инженерлік академиясының академигі; академик, Президиум мүшесі – Қазақстан Республикасы Ұлттық Инженерлік академиясының бас ғылыми қызметкері (Алматы қ., Қазақстан)

Абен Е.Х., техника ғылымдарының кандидаты, Satbayev University, О.А. Байқоңыров атындағы Тау-кен металлургия институты, Тау-кен ісі кафедрасының қауымдастырылған профессоры (Алматы қ., Қазақстан)

Юсупов Х.А., техника ғылымдарының докторы, Satbayev University, О.А. Байқоңыров атындағы Тау-кен металлургия институты, Тау-кен ісі кафедрасының профессоры (Алматы қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Bitimbayev M.Zh., Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of the International Engineering Academy, Academician, Member of the Presidium – Chief Researcher of the National Engineering Academy of the Republic of Kazakhstan (Almaty, Kazakhstan)

Aben E.Kh., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Mining Department of the Mining and Metallurgical Institute named after O.A. Baikonurov of the Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Yusupov Kh.A., Doctor of Technical Sciences, Professor at the Mining Department of the Mining and Metallurgical Institute named after O.A. Baikonurov of the Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Данные исследования были проведены благодаря гранту №AP14871011 Комитета по науке Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.