

ISSN 2500-0632 (ON-LINE)



MINING SCIENCE AND TECHNOLOGY

TOM 5, №2
2020

(RUSSIA)

GORNYE NAUKI I TEKHNologii
ГОРНЫЕ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИИ

MISIS



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

СОДЕРЖАНИЕ

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

ГЕОЛОГИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМ

- Наложенные прогибы Азербайджана в связи с их нефтегазоносностью.....** 72
 Фейзуллаев А. А., Кочарли Ш. С., Аббасова С. В.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ В МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОМ КОМПЛЕКСЕ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

- О необходимости изменения методического подхода к расчету дебита метана в высокопроизводительных очистных забоях Кузбасса.....** 82
 Ордин А. А., Тимошенко А. М., Ботвенко Д. В.

ОБОГАЩЕНИЕ, ПЕРЕРАБОТКА МИНЕРАЛЬНОГО И ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ

- Оценка гравитационной обогатимости золотосодержащей руды – GRG.....** 92
 Суримбаев Б. Н., Каналы Е. С., Болотова Л. С., Шалгымбаев С. Т.

РАЗРАБОТКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

- Развитие природоохранных и ресурсосберегающих технологий подземной добычи руд в энгеронарушенных массивах.....** 104
 Ляшенко В. И., Хоменко О. Е., Голик В. И.

- Управление качеством товарной продукции в условиях отработки сложноструктурного угольного место-рождения.....** 119
 Азев В. А., Попов Д. В.

- Задачи совершенствования управления и повышения эффективности функционирования технологических блоков рудника подземного скважинного выщелачивания урана.....** 131
 Подрезов Д. Р.

МАРКШЕЙДЕРИЯ

- Отслеживание изменений топологии объектов добычи полезных ископаемых на прямоугольных и гексагональных решетках.....** 154
 Крамаров С. О., Митясова О. Ю.

ОПЫТ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТОВ В ГОРНОПРОМЫШЛЕННОМ СЕКТОРЕ ЭКОНОМИКИ

- Эффективные международные подходы в государственном управлении недрами.....** 163
 Баймишев Р. Н.

CONTENTS

ORIGINAL PAPERS

ROCK CHARACTERISTICS. GEOTECHNIC SURVEY AND GEOPHYSICS

- Oil and Gas Potential of Superimposed Depressions in Azerbaijan.....** 72
 A. A. Feizullaev, S. S. Kocharli, S. V. Abbasova

PROCESS SAFETY IN MINING AND PROCESSING INDUSTRY AND ENVIRONMENTAL PROTECTION

- About the necessity for changing the methodical approach to the calculation of methane release rate in high-performance working faces of Kuzbass.....** 82
 A. A. Ordin, A. M. Timoshenko, D. V. Botvenko

BENEFICIATION. PROCESSING OF NATURAL AND TECHNOGENIC MINERALS

- Assessment of gravity dressability of gold ore – GRG test.....** 92
 B. N. Surimbayev, E. S. Kanaly, L. S. Bolotova, S. T. Shalgymbayev

EXPLOITATION OF MINERAL RESOURCES

- Development of environment-friendly and resource-saving methods of underground ore mining in disturbed rock masses.....** 104
 V. I. Lyashenko, O. E. Khomenko, V. I. Golik

- Marketable product quality management in conditions of coal mining at a deposit of complicated structure.....** 119
 V. A. Azev, D. V. Popov

- Issues of improving control and increasing efficiency of production blocks at an ISL uranium mine.....** 131
 D. R. Podrezov

MINE SURVEYING

- Tracking changes in mining object topology on rectangular and hexagonal grids.....** 154
 S. O. Kramarov, O. Yu. Mityasova

MINING PROJECT IMPLEMENTATION EXPERIENCE

- Effective international approaches to subsoil public administration.....** 163
 R. N. Baimishev

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ / ORIGINAL PAPERS

DOI: 10.17073/2500-0632-2020-2-72-81

Наложённые прогибы Азербайджана в связи с их нефтегазоносностью**Фейзуллаев А. А., Кочарли Ш. С., Аббасова С. В.**Институт геологии и геофизики Национальной академии наук Азербайджана,
г. Баку, Республика Азербайджан

Аннотация: Республика Азербайджан обладает значительным потенциалом нефтегазовой отрасли экономики, которая является базовой для страны. Перспективы развития технологий добычи нефти и газа в значительной мере определяются эффективностью геолого-геофизических исследований и поисково-разведочного бурения рассматриваются особенности геологического строения и нефтегазоносности депрессионных зон суши Азербайджана с целью определения направления дальнейших поисков углеводородов (УВ). Проведенный анализ таких исследований показывает, что Среднекуринская впадина (азербайджанская часть) и Губа-Дивичинский прогиб имеют наложенный характер с соответствующими особенностями условий формирования и сохранения углеводородных скоплений. Обосновываются низкие перспективы нефтегазоносности миоцен-антропогенного комплекса отложений указанных наложенных прогибов, в связи с невысоким углеводородным потенциалом пород (особенно нижнеплиоценовых), а также низкими температурами, недостаточными для преобразования органического вещества в УВ. В качестве поисковых объектов предложено использовать слабо дислоцированные юрские и меловые отложения, особенно перекрытые нефтегазогенерирующими палеоген-миоценовыми комплексами (промышленные скопления типа Мурадханлы).

Ключевые слова: тектоника, наложенный прогиб, мезо-кайнозойские отложения, несогласия, нефтегазоносность, Азербайджан, перерыв в осадконакоплении, бассейновое моделирование, углеводороды.

Для цитирования: Фейзуллаев А. А., Кочарли Ш. С., Аббасова С. В. Наложённые прогибы Азербайджана в связи с их нефтегазоносностью. *Горные науки и технологии*. 2020;5(2):72-81. DOI: 10.17073/2500-0632-2020-2-72-81.

Oil and Gas Potential of Superimposed Depressions in Azerbaijan**A. A. Feizullaev, S. S. Kocharli, S. V. Abbasova**Institute of Geology and Geophysics of National Academy of Sciences of Azerbaijan,
Baku, Republic of Azerbaijan

Abstract: The Republic of Azerbaijan has significant potential in the oil and gas industry, which is the basic for the country economy. Prospects for the development of oil and gas production technologies are largely determined by the effectiveness of geological and geophysical surveys and exploratory drilling. The features of the geology and oil and gas potential of the Azerbaijanian continental depression zones are considered for determining the targets for further exploration for hydrocarbons (HC). The analysis of such studies shows that the Srednekurinskaya depression (the Azerbaijani part) and the Guba-Divichinsky depression are superimposed with the corresponding features of the conditions for the formation and survival of hydrocarbon accumulations. Low oil and gas potential of the Miocene-anthropogenic strata of the discussed superimposed depressions is substantiated: this is due to low hydrocarbon potential of the rocks (especially the Lower Pliocene ones), as well as low temperatures insufficient for the conversion of organic matter to hydrocarbons. It is proposed to use poorly tectonized Jurassic and Cretaceous sediments, especially those overlaid by oil and gas generating Paleogene-Miocene strata (commercial accumulations of Muradkhanli type) as the HC exploration prospects.

Keywords: tectonics, superimposed depression, Meso-Cenozoic strata, unconformities, oil and gas potential, Azerbaijan, nondepositional hiatus, basin modeling, hydrocarbons.

For citation: Feizullaev A. A., Kocharli S. S., Abbasova S. V. Oil and Gas Potential of Superimposed Depressions in Azerbaijan. *Gornye nauki i tekhnologii = Mining Science and Technology (Russia)*. 2020;5(2):72-81. (In Russ.) DOI: 10.17073/2500-0632-2020-2-72-81.



Введение

Проблемы оценки перспектив нефтегазоносности в зависимости от характера унаследованности или наложенности прогибов являются слабоизученными, хотя имеются отдельные публикации, попутно касающиеся этого вопроса [2, 3, 5, 10].

В связи с этим напомним, что большинство нефтегазоносных прогибов или нефтегазоносных районов Азербайджана, такие как Южно-Каспийская впадина, Апшеронский район, юго-восточный Гобустан, Нижнекуринский и Евлах-Агджабединский прогибы (до верхнего миоцена) характеризуются преимущественной унаследованностью прогибания и осадконакопления за весь период альпийского орогенеза.

В этих прогибах, заложенных как минимум с начала юрского периода (предполагаемая поверхность кристаллического фундамента), мощность мезо-кайнозойских отложений составляет 10–25 км и более, и они характеризуются в основном соответствием структурных планов слагающих отложений.

Между тем на территории Азербайджана имеется ряд нефтегазоносных районов с явной наложенностью структурных планов.

Необходимо оговориться, что понятие «наложенность прогибов» нами здесь употребляется в двух значениях – стратиграфическом и структурном. Сравнительно меньше употребляется термин «наложение складчатых зон нефтегазоносных районов», фактически имеющий аналогичную с прогибами генетическую природу.

В данной работе нами рассматриваются два нефтегазоносных района – Куринская впадина и Прикаспийско-Губинский район, хотя, по мнению многих исследователей, таких прогибов в Азербайджане намного больше, о чем будет сказано дальше.

В данном исследовании рассматриваются особенности геологического строения и нефтегазоносности депрессионных зон суши Азербайджана в связи с перспективами обнаружения новых промышленных скоплений.

Результаты исследований

Наложенные прогибы Куринской впадины

В современном понимании Куринская впадина как крупный структурный элемент, разделяющий мегантиклинории Большого и Малого Кавказа, сформировалась в пост-верхнемиоценовое время. На это впервые было указано В. Е. Хаином и А. Н. Шардановым [9] еще в 1952 г. В дальнейшем проведенными геолого-геофизическими исследованиями [2, 5, 11] было установлено, что в мезозойское время (юра-мел) территория Куринской впадины (азербайджанская часть) фактически была представлена следующими самостоятельными структурными единицами – Нижнекуринским и Евлах-Агджабединским прогибами, между речью Куры и Габырры (юго-западный борт Иорского прогиба), Аджиноурским прогибом и разделяющей их Мугань-Саатлы-Геокчай-Мингечаурской зоной поднятий (рис. 1).

Палеотектоническая перестройка, называемая иногда инверсией, началась на рубеже верхнего мела – палеогена и завершилась в позднем миоцене, как об этом говорилось выше (рис. 2).

Наряду с некоторыми общими чертами каждый из этих тектонических зон имеет свою специфику развития и строения.

Среди этих прогибов полную самостоятельность (замкнутость) на Азербайджанской территории имеет только Евлах-Агджабединский прогиб, в то время как Нижнекуринский прогиб является юго-западным заливом Южно-Каспийской впадины (ЮКВ), а между речью Куры и Габырры – юго-западным бортом Иорского прогиба.

Природа этих прогибов в рамках современной Куринской впадины в значительной степени контролировалась характером Мугань-Саатлы-Геокчай-Мингечаурской зоны поднятий, в плане во многом совпадающей с известным Талыш-Вандамским гравитационным максимумом.

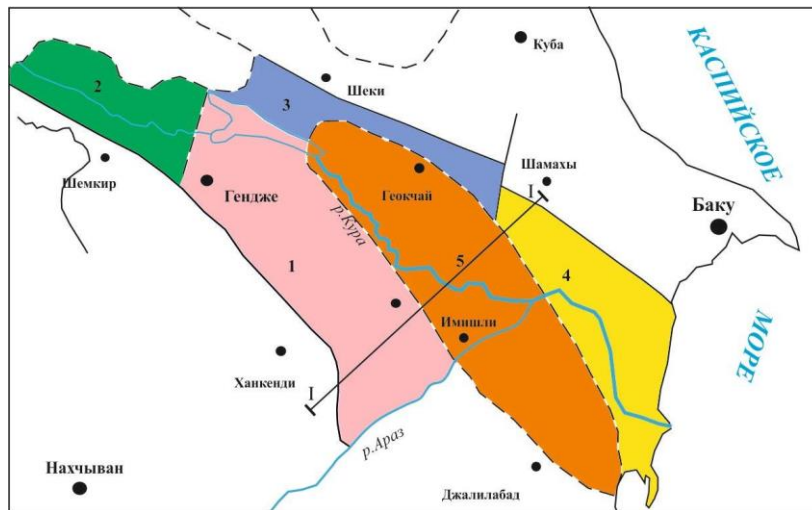


Рис. 1. Куринская впадина. Схема тектоники в мезозое:

прогибы: 1 – Евлах-Агджабединский; 2 – междуречье Куры и Габырры; 3 – Аджиноурский; 4 – Нижнекуринский; зона поднятий: 5 – Талыш-Саатлы-Мингечаурская; I-I – геологический профиль, пересекающий Куринскую впадину (см. рис. 3)

Fig. 1. Kurinsky basin. Mesozoic tectonic structure:

depressions: 1 – Yevlakh-Agjabedinsky; 2 – interfluvium of the Kura and Gabyrry; 3 – Ajinoursky; 4 – Nizhnekurinsky; uplift zone: 5 – Talysh-Saatly-Mingechaurskaya; I-I – geological profile crossing the Kurinskaya depression (see Fig. 3)

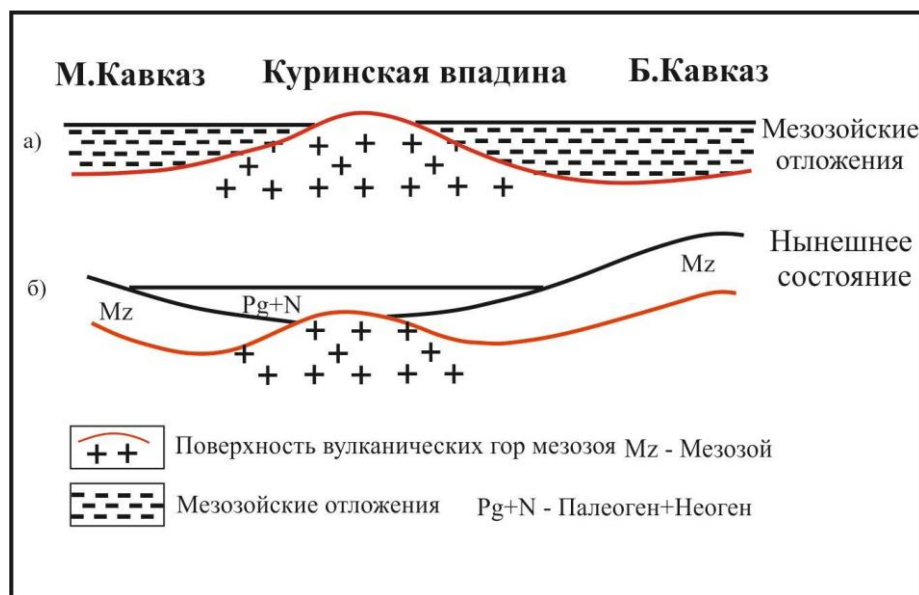


Рис. 2. Положение Кавказских гор:

a – в мезозое; б – в нынешнее время

Fig. 2. Location of Caucasus Mountains:

a – in the Mesozoic; b – at the present time

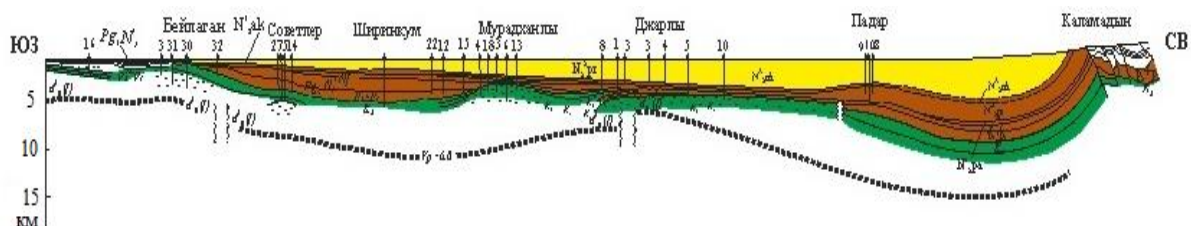


Рис. 3. Геологический профиль, пересекающий Куринскую впадину с юго-запада на северо-восток (см. рис. 1, разрез I-I')

Fig. 3. Geological profile crossing the Kurinsky basin from southwest to northeast

Названная зона поднятий, существовавшая, видимо, с палеозойского времени, с конца верхнего мела до начала верхнего миоцена подвергалась интенсивному размытию, и здесь полностью отсутствовало осадконакопление. Нижнекуруинская депрессия за этот период развивалась вместе с ЮКВ, имея унаследованный характер мезо-кайнозойских структурных планов с накоплением молассовых образований большой мощности (более 15 км).

Начиная с эпохи верхнего миоцена вся территория центральной части Куруинской впадины подверглась интенсивному погружению и осадконакоплению, и здесь образовался наложенный прогиб Среднекуруинской впадины (СКВ) с охватом миоцен-плиоцен-антропогенных отложений мощностью около 5 км (рис. 3).

Следовательно, наложенность в Куруинской впадине присуща только ее Среднекуруинской части, а Нижнекуруинская впадина (НКВ) имеет унаследованный характер прогибания.

Аджиноурский район, особенно его Алазан-Агричайская зона, также рассматривается рядом исследователей в качестве наложенного прогиба. Если эта версия верна, то весь Аджиноурский район необходимо отнести к категории наложенных прогибов.

В значительной части территории СКВ пост-верхнемиоценовые отложения почти не затронуты складчатыми дислокациями за исключением зоны Чатма-Геокчайского антиклинория, частично бортовой части Евлах-Агджабединского прогиба и Аджиноура. В НКВ, как и в ЮКВ, эти образования смяты в интенсивные складки.

Какой же характер имеет нефтегазонасыщение миоцен-плиоцен-антропогенных отложений в наложенных прогибах Куруинской впадины.

Как известно, в центральной части СКВ в наложенном комплексе верхне-миоцен-плиоцен-антропогенных отложений, залегающих повсеместно субгоризонтально, призна-

ков нефтегазонасыщения не отмечено. Промышленная нефтегазонасыщенность или проявления УВ установлены в подстилающих верхне-мел-палеогеновых (месторождения Мурадханлы, Джафарлы, Советляр, Зардоб) и олигоцен-нижнемиоценовых отложениях (майкопская серия) (месторождения Газанбулаг, Тер-Тер, Нафалан).

В Междуречье Куры и Габырры наличие залежей УВ также установлено в нижнем структурном этаже – эоцене и верхнем мелу на площадях Тарсдалляр и Гюрзундаг. В наложенном майкоп-верхне-миоцен-плиоценовом комплексе эффективных проявлений нефти и газа не установлено, за исключением выходов нефти в верхнемиоценовых отложениях в зоне Чатминского антиклинория.

В НКВ, имеющей по кайнозойскому и, возможно, мезозойскому комплексам унаследованный характер развития, нефтегазонасыщенность установлена в основном в разрезе нижнеплиоценовых (продуктивная толща – ПТ), частично в верхнеплиоценовых (Акчагыльская свита) и антропогенных (Апшеронская свита) отложений. Нижезалегающие отложения (миоцен-олигоценные) вскрыты частично, и говорить об их перспективах пока рано, хотя предварительные результаты достаточно обнадеживающие.

Таким образом, наложенный прогиб по верхне-миоцен-антропогенному комплексу в СКВ имеет сравнительно меньшую перспективу нефтегазонасыщенности, а в НКВ с унаследованным характером структурного плана нефтегазонасыщенен или перспективен весь названный комплекс.

В связи с этим представляют интерес перспективы нефтегазонасыщенности нижнего структурного этажа СКВ – от среднего сармата до верхнего мела.

Рассматриваются три возможные модели формирования залежей, присущих не только СКВ, но и другим наложенным прогибам. Эти модели отражены на рис. 4.

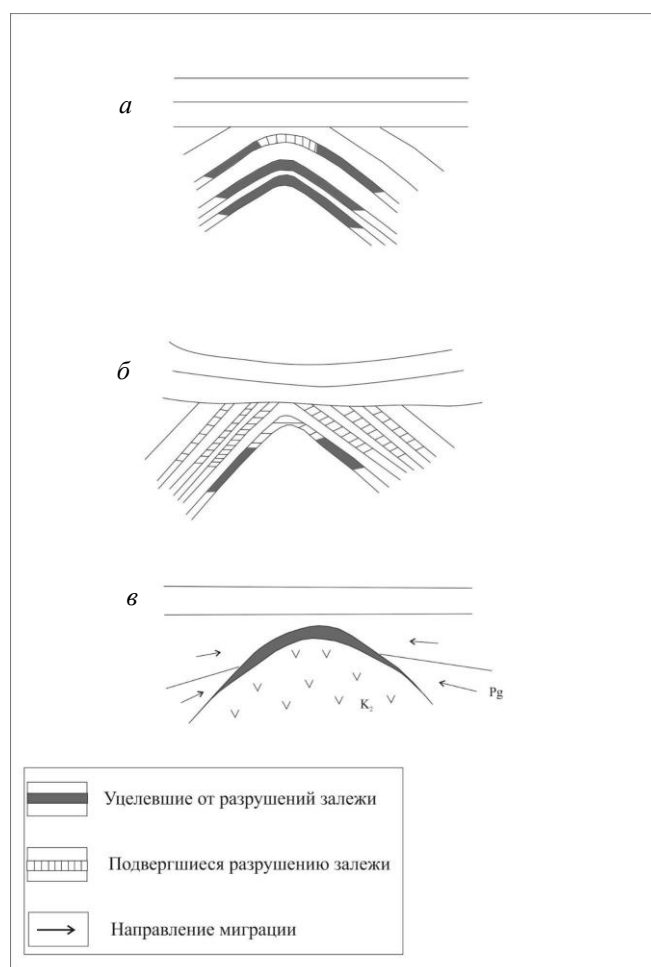


Рис. 4. Варианты образования залежей в наложенных прогибах

Fig. 4. Variants of pool formation in superimposed depressions

Рис. 4, *a* отражает картину образования залежей в «подложенных» (подстилающих) комплексах, где пласты-коллекторы почти не затронуты эрозией и существуют благоприятные условия для сохранения скоплений УВ.

На рис. 4, *б* показан случай глубокой эродированности пластов-коллекторов с возможным процессом разрушения залежей и их сохранением в результате последующего перекрытия «подложенного» комплекса молодыми образованиями (месторождения Джарлы, Сор-Сор, Караджаллы и др.).

Наконец, рис. 4, *в* отражает модель Мурадханлинского месторождения, где эродированный выступ вулканитов верхнемелового возраста перекрывается нефтегазобразующими палеоген-миоценовыми отложениями.

Как показали результаты разведочных работ в зоне Джарлы-Караджаллы, располо-

женной в наиболее повышенной и резко эродированной части Кюрдмирского моста, промышленные скопления УВ отсутствуют. Если даже допустить здесь нефтегазобразование в мезозое, однако длительно продолжавшаяся эрозия в верхне-мел-верхне-миоценовое время не благоприятствовала формированию и сохранению залежей УВ (модель рис. 4, *б*).

Мурадханлинское месторождение в этом случае является исключением, так как здесь эродированная поверхность верхнего мела перекрыта нефтегазообразующими майкоп-эоценовыми отложениями с последующей миграцией УВ в головную часть мезозойского выступа. В связи с этим одним из авторов [6] на основе палеогеологических исследований был обоснован поисковый критерий по нахождению аналогов Мурадханлинского место-

рождения – это площади перекрытия вулканических нефтегазообразующими майкоп-эоценовыми отложениями.

Этому условию отвечает Хосров-Агдашская зона поднятий и ее юго-западное погружение – до Амирархской площади.

Губа-Дивичинский наложенный прогиб (ГДНП)

По природе этого уникального прогиба имеется очень много интересных, порой противоречивых мнений, по части как истории геологического развития, так и современной структуры [1, 7, 8, 10]. Не рассматривая суть этих исследований, отметим, что этот прогиб является классическим примером наложенно-

сти антропоген-палеогенового комплекса отложений на мезозойские (юра-мел) образования с длительным перерывом в осадконакоплении от средне-верхней юры до палеоген-миоцена. Существует также мнение [2] о том, что ГДНП по мезозою не является типичным синклиниорием, скорее всего это зона приподнятости с выпадением из разреза ряда стратиграфических единиц юры и мела. Действительно, в юрско-меловой период эта зона занимала более высокое гипсометрическое положение, чем зоны Тенги-Бешбармакского антиклиниория и Хызинского синклиниория, где наблюдается относительно полный разрез этих отложений (рис. 5).

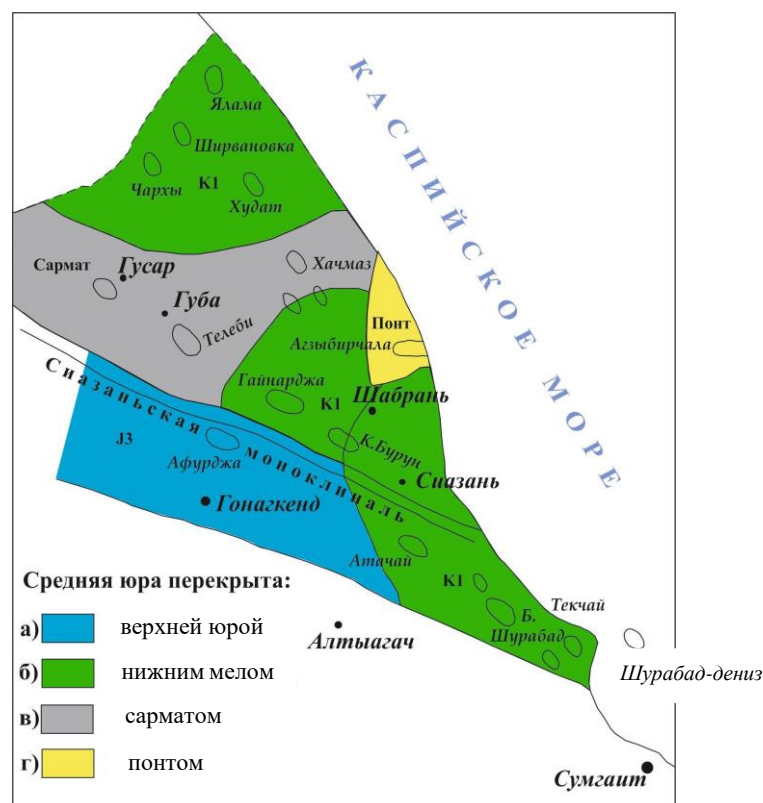


Рис. 5. Прикаспийско-Губинский район. Палеогеологическая карта перекрытия среднеюрских отложений

Fig. 5. The Caspian-Gubinsky region. Paleogeological map of Middle Jurassic sediment overlapping

Тектоника эродированной поверхности мезозойских отложений в ГДНП далеко не спокойна – здесь по геолого-геофизическим и буровым разведочным данным выделяется ряд антиклинальных и разделяющих их синклиналильных зон. В частности, на северо-западе района выявлены локальные структуры Гусар, Ширвановка, Ялама, Ялама-сев., Худат и т.д.,

а на юго-востоке – Губа, Хачмас, Чархи, Агзыбирчала и т.д. Между этими зонами расположена слабовыраженная Зейхурская синклиналь. На юго-западе района параллельно Сиазанской моноклинали линейно вытянута Талаби-Гайнарджа-Гызылбурунская антиклинальная зона, а в северо-восточном погружении ее – узкая синклиналильная полоса.

Масштабы эрозии и раскрытости поверхности «подложенного» (нижнего), т.е. мезозойского, комплекса в регионе довольно разные. Следует отметить, что по всему району отсутствуют верхнеюрские образования. На отдельных площадях отложения средней юры через крупное несогласие перекрываются

палеоген-нижне-миоценовыми образованиями, в частности, на площади Хачмаз – палеоценовыми, Агзыбирчала – понтическими, Ялама – нижнемеловыми. Максимальный масштаб перерыва отмечен на площади Гусар, где скважина № 1 с глубины 2448 м из верхнемиоценовых отложений вошла в среднеюрские, вскрыв их на 220 м (рис. 6).

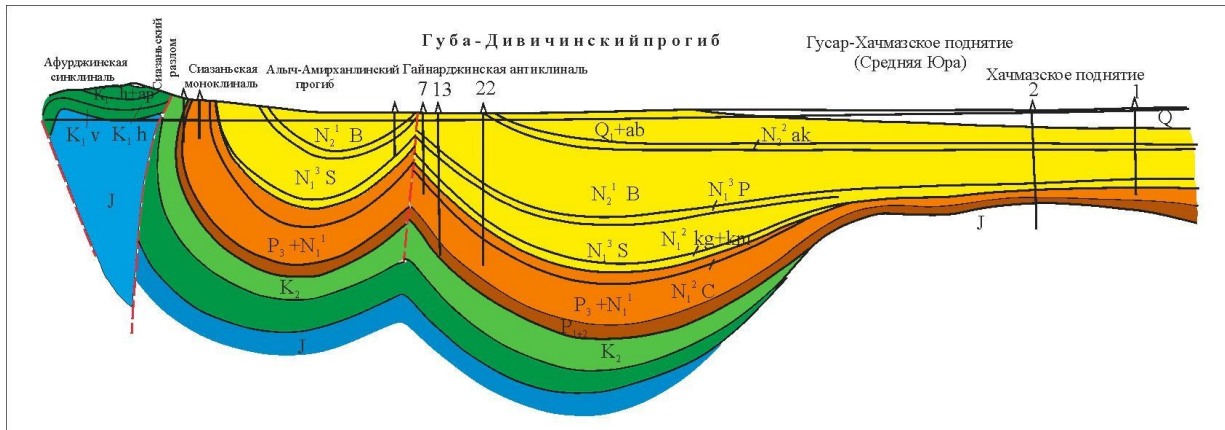


Рис. 6. Геологический профиль по направлению Афурджа-Хачмаз (по А. А. Сулейманову и др. [8])

Fig. 6. Geological profile in the direction of Afurdzha-Khachmaz (according to A. A. Suleymanov et al. [8])

На площади Талаби, расположенной ближе к центру Губа-Дивичинского прогиба, скважина № 12 вскрыла под сарматскими отложениями, черные аргиллиты средней юры, доказав наложенность и этого прогиба. Примерно такой же разрез был вскрыт и в скважине № 15 этой же площади.

В отношении тектоники наложенной палеоген-миоцен-плиоцен-антропогеновой части разреза региона можно сказать, что по новейшим геолого-геофизическим данным почти все они залегают субгоризонтально без каких-либо структурных осложнений с небольшим уклоном пластов на северо-восток – в сторону Каспийского моря, и в связи с этим они не представляют серьезного поискового значения.

По нефтегазоносности «подложенного» комплекса района необходимо отметить, что помимо месторождений Сиазанской моноклинали на ряде площадей района в разрезе юрских и особенно меловых отложений отмечены нефтегазопроявления. В частности, на

площади Ялама в скважине № 1 в процессе бурения в турон-коньякских отложениях отмечены нефтегазопроявления, а в скважине № 9 (баррем) получено 28–30 м³ воды с нефтью и конденсатом. Нефтегазопроявления наблюдались также при бурении скважин на площадях Худат и Хачмас. Несмотря на эти положительные факты, промышленные залежи нефти и газа здесь не были выявлены.

Причиной такого положения многие исследователи склонны считать недостаточность проведенных геолого-геофизических исследований, в первую очередь глубокого бурения. Частично соглашаясь с этим мнением, отметим, что одной из причин может быть также сильная дислоцированность и большая раскрытость поверхности коллекторов юры и мела, которые способствовали разрушению ранее сформировавшихся залежей (модель рис. 4, б). УВ, образовавшиеся в нижнем структурном этаже могли быть разрушены ко времени накопления миоцен-палеогеновых отложений [13]. В связи с этим отмеченные

нефтегазопроявления или притоки УВ в скважинах, возможно, являются уцелевшими остатками былых залежей. Важным условием поисков таких скоплений является оценка запасов УВ с целью определения рентабельности их разработки.

Таким образом, в ГДНП, так же как и в СКВ, перспективы нефтегазоносности глубоко эродированных юрско-меловых образований оцениваются как не высокие.

Заключение

Выполнен комплексный анализ результатов ранее проведенных геолого-геофизических исследований, поисково-разведочного бурения и определения нефтегазоносности депрессионных зон суши Азербайджана, это позволяет заключить, что:

– Среднекуринская впадина (азербайджанская часть) и Губа-Дивичинский прогиб имеют наложенный характер;

– миоцен-антропогеновый комплекс отложений указанных наложенных прогибов характеризуется низкими перспективами нефтегазоносности, что связано с невысоким УВ-потенциалом пород (особенно нижнеплиоценовых), а также низкими температурами, недостаточными для преобразования органического вещества в УВ. Последнее подтверждают результаты моделирования нефтегазообразования, выполненные на примере площади Хачмаз (рис. 7) и Ялама (рис. 8);

– слабо дислоцированные юрские и меловые отложения могут рассматриваться как возможно перспективные объекты поиска УВ;

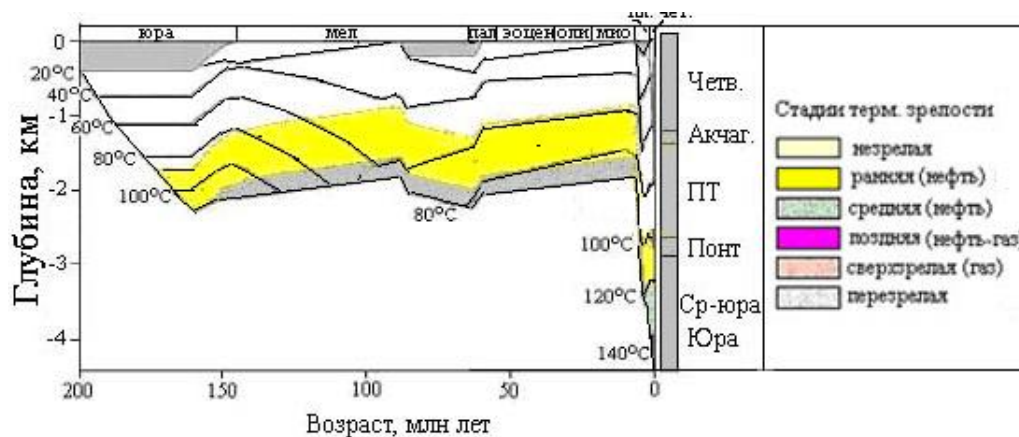


Рис. 7. Модель нефтегазообразования для площади Хачмаз

Fig. 7. Oil and gas formation model for Khachmaz area

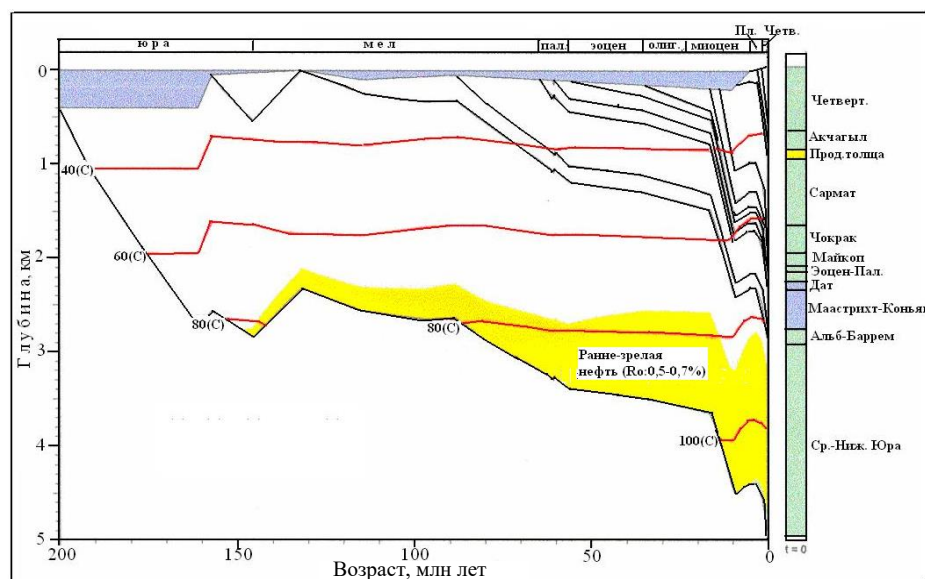


Рис. 8. Модель нефтегазообразования для площади Ялама

Fig. 8. Oil and gas formation model for the Yalama area

– эродированные вулканогенные, вулканогенно-осадочные породы мезозоя, перекрытые нефтегазогенерирующими палеоген-миоценовыми комплексами (промышленные скопления типа Мурадханлы) также представляют поисковый интерес.

В свете полученных результатов исследований для проведения дальнейших поисково-разведочных работ на нижнем структурном этапе должны быть разработаны новые, возможно, нетрадиционные геолого-геофизические подходы и методы поисков.

Библиографический список

1. Алиев А. *Внутренние впадины Азербайджана и оценка их перспектив нефтегазоносности*. Баку: Нафта пресс; 2003. 319 с.
2. Ализаде А. А., Ахмедов Г. А., Ахмедов А. М., Алиев А. К., Зейналов М. М. *Геология нефтяных и газовых месторождений Азербайджана*. М.: Недра; 1966. 392 с.
3. Ахмедов Г. А. *Геология и нефтегазоносность Гобустана*. Баку: Азнефтеиздат; 1957. 299 с.
4. Вассоевич Н. Б. О крупных тектонических покровах в Восточном Закавказье. *Записки Всероссийского минералогического общества*. 1940;69(2):395-416.
5. Мамедов А. В. *История геологического развития и палеогеография Среднекуринской впадины в связи с нефтегазоносностью*. Баку: Элм; 1977. 212 с.
6. Кочарли Ш. С. *Проблемные вопросы нефтегазовой геологии Азербайджана*. Баку: Ганун; 2015. 280 с.
7. Салаев С. Г. *Олигоцен-миоценовые отложения Юго-Восточного Кавказа и их нефтегазоносность*. Баку: Изд. АН Азерб. ССР, 1961. 253 с.
8. Süleymanov Ə. M., Zeynalov R. L., Məhərrəmov B. İ. *Xəzəryanı-Quba NQR-in mezozoy çöküntülərinin neft-qazlılıq perspektivliyinin paleotektonik və paleocoğrafi əsasları*. *Azərbayc. Neft. hözəyistvo*. 2010;(3):3-8.
9. Хаин В. Е., Шарданов А. Н. *Геологическая история и строение Куринской впадины*. Баку: Изд. АН Азерб. ССР; 1952. 348 с.
10. Шарданов А. Н. К вопросу о явлениях покровной тектоники на Юго-Восточном Кавказе. *Докл. АН Азерб. ССР*. 1953;9(8):439-444.
11. Шихалибейли Э. Ш. *Геологическое строение и история тектонического развития восточной части Малого Кавказа*. Баку: Изд. АН Азерб. ССР; 1966. 110 с.
12. Шурыгин А. М. *Условия формирования структур Юго-Восточного Кавказа*. М.: Изд. АН СССР; 1962. 139 с.
13. Фейзуллаев А., Ибрагимов Б., Годжаев А., Джаббарова Н. Моделирование генерации нефти и газа в осадочной толще Прикаспийско-Губинского района. *Известия НАН Азерб. Науки о Земле*. 2005;(1):16-20.

References

1. Aliev A. *The internal depressions in Azerbaijan and assessment of their prospects for oil and gas*. Baku: Nafta Press Publ; 2003. 319 p. (In Russ.).
2. Alizade A. A., Akhmedov G. A., Akhmedov A. M., Aliev A. K., Zeynalov M. M. *Geology of oil and gas fields of Azerbaijan*. Moscow: Nedra Publ.; 1966. 392 p. (In Russ.).
3. Akhmedov G. A. *Geology and oil-and-gas potential of Gobustan*. Baku: Aznefteizdat Publ.; 1957. 299 p. (In Russ.).
4. Vassoevich N. B. About large overthrust sheets in the East Transcaucasia. *Zapiski Vserossijskogo mineralogičeskogo obšestva*. 1940;69(2):395-416. (In Russ.).
5. Mamedov A. V. *History of geological development and paleogeography of the Srednekurinsky depression in relation to oil-and-gas*. Baku: Elm Publ.; 1977. 221 p. (In Russ.).
6. Kocharli Sh. S. *Problematic issues of oil and gas geology of Azerbaijan*. Baku: Ganun Publ; 2015. 280 p. (In Russ.).
7. Salaev S. G. *Oligocene-Miocene sediments of the South-East Caucasus and their oil-and-gas potential*. Baku: Azerbaijan Academy of Sciences Publ.; 1961. 253 p. (In Russ.).
8. Suleymanov A. M., Zeynalov R. L., Maharramov B. I. Paleotectonic and paleogeographic reasons of oil-and-gas prospects of Mesozoic sediments of the Caspian-Guba NQR. *Azerbajdžanskoe neftənoe hozəyistvo*. 2010;3:3-8. (In Azerb.).
9. Khain V. E., Shardanov A. N. *Geological history and structure of the Kurinsky basin*. Baku: Azerbaijan Academy of Sciences Publ.; 1952. 348 p. (In Russ.).
10. Shardanov A. N. About the phenomena of overthrust sheet formation in the South-East Caucasus. In: *Proceedings of Azerbaijan Academy of Sciences*. 1953;9(8):439-444 (In Russ.).

11. Shikhalibeyli E. Sh. *Geological structure and history of tectonic development of the eastern Caucasus Minor*. Baku: Azerbaijan Academy of Sciences Publ.; 1966. 110 p. (In Russ.).
12. Shurygin A. M. *Conditions for the formation of structures in the South-East Caucasus*. Moscow: USSR Academy of Sciences Publ.; 1962. 139 p. (In Russ.).
13. Feizullaev A., Ibragimov B., Godzhaev A., Dzhabbarova N. Modeling of oil and gas formation in sedimentary strata of the Caspian-Gubinsky region. *Izvestiya NAN Azerbaijana. Nauki*. 2005;(1):16–20 (In Russ.).

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ / ORIGINAL PAPERS

DOI: 10.17073/2500-0632-2020-2-82-91

**О необходимости изменения методического подхода
к расчету дебита метана в высокопроизводительных
очистных забоях Кузбасса****Ордин А. А.¹⁻³, Тимошенко А. М.⁴, Ботвенко Д. В.⁴**

¹Институт горного дела им. Н. А. Чинакала, Сибирское отделение Российской академии наук, г. Новосибирск, Россия, ✉ordin@misd.ru;

²Институт вычислительных технологий, Сибирское отделение Российской академии наук, г. Новосибирск, Россия;

³ООО «Научно - проектный центр ВостНИИ», г. Кемерово, Россия;

⁴Акционерное общество «Научный центр ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности в горной отрасли», г. Кемерово, Россия

Аннотация: Традиционно считается, что использование высокопроизводительного добычного оборудования на угольных шахтах приводит не только к увеличению производительности предприятия, но и к значительному повышению выделения метана в рудничную атмосферу. Исходя из этого, существующее нормативно-методическое обеспечение для расчета позволяло прогнозировать дебит метана в рудничную атмосферу и определять необходимые режимы работы системы проветривания для обеспечения безопасности горных работ. В работе поставлена задача исследовать на практике закономерности метановыделения от производительности добычной техники и выявить явления, влияющие на характер этих закономерностей. На основании данных средств аэрогазового контроля приведены результаты статистического исследования метановыделения в 101 очистном забое 33 шахт Кузбасса. С высокой степенью достоверности в 76 очистных забоях установлены параболические зависимости метановыделения от производительности добычной техники, имеющие точки максимума относительно скорости подачи и производительности очистного комбайна. С использованием закона А. Дарси и уравнения сорбции И. Ленгмюра теоретически установлено, что метановыделение из отбитого угля является функцией, обратно пропорциональной линейно-гиперболической зависимости, а также имеет точку максимума относительно скорости подачи и производительности очистного комбайна. Анализ установленной зависимости дебита метана из отбитого угля показывает, что метановыделение значительно, в квадратической зависимости, снижается при уменьшении частоты вращения шнека и количества резцов в линии резания или количества лопастей на шнеке. Метановыделение также в квадратической зависимости растет с увеличением мощности пласта и ширины захвата комбайна. Экстремальная зависимость дебита метана из отбитого угля формирует две области допустимых значений скорости подачи и производительности очистного комбайна по газовому фактору.

Ключевые слова: шахта, угольный пласт, метановыделение, концентрация метана, статистический анализ, допустимая производительность очистного забоя, газовый фактор, скорость подачи комбайна, выход фракций.

Для цитирования: Ордин А. А., Тимошенко А. М., Ботвенко Д. В. О необходимости изменения методического подхода к расчету дебита метана в высокопроизводительных очистных забоях Кузбасса. *Горные науки и технологии*. 2020;5(2):82-91. DOI: 10.17073/2500-0632-2020-2-82-91.



About the Necessity for Changing the Methodical Approach to the Calculation of Methane Release Rate in High-Performance Working Faces of Kuzbass

A. A. Ordin¹⁻³, A. M. Timoshenko⁴, D. V. Botvenko⁴

¹Mining Institute named after N. A. Chinakala, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia, ✉ordin@misd.ru;

²Institute of Computational Technologies, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia;

³Scientific&Design Center of VostNII LLC, Kemerovo, Russia;

⁴Joint Stock Company "Scientific Center of VostNII for Industrial and Environmental Safety in Mining Industry", Kemerovo, Russia

Abstract: It is traditionally believed that the use of high-performance mining equipment in collieries leads not only to increasing productivity of the enterprise, but also to significant increasing release of methane into the mine air. Based on this, the existing regulatory and methodological support for calculations allowed predicting the rate of methane release into the mine air and determining the required operating modes of the ventilation system to ensure mining safety. The task of this study is to investigate in practice the laws of methane release as a function of the productivity of mining equipment and to identify phenomena that affect the nature of these laws. Based on the data of air gas monitoring, the results of statistical study of methane release in 101 working faces of 33 collieries of Kuzbass are presented. In 76 working faces, parabolic law of the dependence of the methane release on the productivity of mining equipment, having peak points in relation to the rate of advance and productivity of the shearer were established with high confidence. Using the law of A. Darcy and the equation of sorption of I. Langmuir, it has been theoretically established that methane release from loose coal is a function inversely proportional to the linear hyperbolic dependence, and also has a peak point in relation to the rate of advance and productivity of the shearer. Analysis of the established dependence of the rate of methane release from the loose coal shows that the methane release significantly (quadratically) decreases with decreasing the rotational speed of the cutting auger and the number of cutters in the cutting line or the number of blades on the drum. Methane release also quadratically increases with increasing formation thickness and the shearer cutting width. The extreme dependence of the rate of methane release from loose coal forms two areas of allowable rate of advance and productivity of the shearer by gas factor.

Keywords: mine, coal seam, methane release, methane concentration, statistical analysis, permissible performance of working face, gas content, shearer rate of advance, fractional yield.

For citation: Ordin A. A., Timoshenko A. M., Botvenko D. V. About the necessity for changing the methodical approach to the calculation of methane release rate in high-performance working faces of Kuzbass. *Gornyye nauki i tekhnologii = Mining Science and Technology (Russia)*. 2020;5(2):82-91. (In Russ.). DOI: 10.17073/2500-0632-2020-2-82-91.

Введение

Современные импортные очистные комбайны, применяемые на шахтах в Кузбассе, оснащаются силовыми электроприводами высокой установленной мощностью и обладают значительной производительностью и скоростью подачи. Так, например, очистной комбайн Eickhoff SL-900 массой 90 т, используемый на шахте им. В.Д. Ялевского, имеет суммарную мощность электродвигателей приводов резания и подачи 2104 кВт. Скорость подачи комбайна достигает 48 м/мин, а производительность превышает 50 тыс. т угля в сутки. В августе 2018 г. на шахте им.

В.Д. Ялевского в лаве 5004 длиной 400 м при выемке пласта мощностью 3,8 м поставлен мировой рекорд добычи угля – 1627 тыс. т.

Однако при этом работа современных шнековых комбайнов, скребковых конвейеров и дробилок в очистных забоях приводит к переизмельчению угля. В условиях шахты «Костромовская» 69,1 % угля добывается классов «штыб» (0–6 мм) и «семечко» (6–13 мм). Аналогичный картину выхода мелких фракций угля присутствует и на многих других шахтах. Это приводит к ряду негативных последствий: снижению сортности и соответственно оптовой цены угля, а также

повышению выхода пылевых фракций и увеличению дебита метана из отбитого угля в очистных забоях.

Закономерности интенсивности метановыделения от производительности добычной техники на угольных шахтах.

Одним из действенных способов снижения дебита метана в очистных забоях является повышение производительности шнековых комбайнов. Снижение метановыделения из отбитого угля при высокой производительности очистного комбайна впервые зафиксировано специалистами АО «НЦ ВостНИИ» в 2010 г. средствами аэрогазового контроля на шахтах «Тагарышская», «Котинская», «Галдинская-Западная-1» [1]. Суть этого явления заключается в том, что при увеличении скорости подачи и производительности очистного комбайна в начальный период происходит рост метановыделения из отбитого угля, практически в соответствии с утвержденными инструкциями и методиками [2–4], а затем, после достижения некоторого максимума дебита метана, при дальнейшем росте производительности комбайна происходит снижение метановыделения. При высокой производительности очистного комбайна

(20–30 тыс. т/сут и более) существует значительное несоответствие между фактическим дебитом метана в очистных забоях и расчетными данными [1]. Так, например, на шахте «Котинская» несовпадение расчетных и фактических данных дебита метана, полученных средствами аэрогазового контроля, при производительности очистного забоя 30 тыс. т/сут. составляет более чем 5 раз, а при добыче угля 37 тыс. т/сут. расчетный дебит метана превышает фактическое метановыделение более чем в 15 раз (рис. 1)!

Это явление противоречит утвержденным инструкциям [2–4] и требует более полного теоретического и статистического доказательства.

На основании информации, полученной средствами аэрогазового контроля, авторами проведен статистический анализ фактического метановыделения в 101 очистном забое 33 шахт Кузбасса. В результате с высокой степенью достоверности по 76 очистным забоям определены параболические зависимости дебита метана от производительности очистного комбайна, обладающие точками максимума (табл. 1, рис. 2).

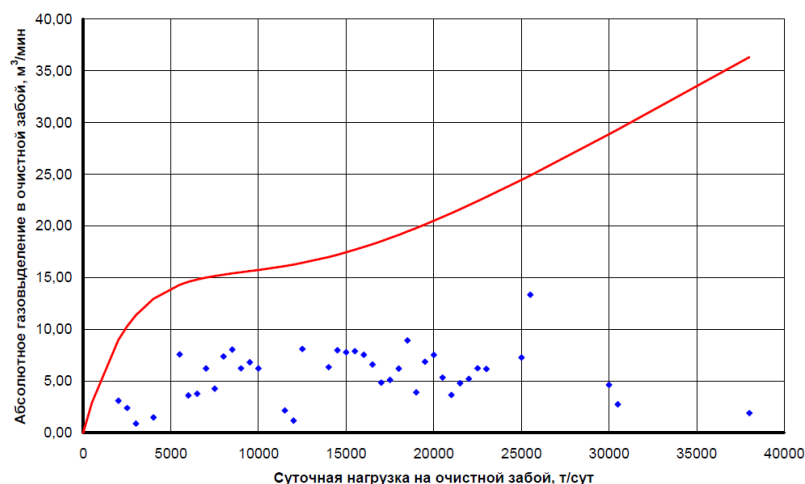


Рис. 1. Теоретическая кривая метановыделения по действующим инструкциям и фактический дебит метана в очистном забое 5203 шахты «Котинская»

Fig. 1. Theoretical methane release curve in accordance with applicable instructions and the factual methane release rate in production face 5203 of the Kotinskaya colliery

Тенденция снижения метановыделения из отбитого угля индивидуальна для каждого пласта и очистного забоя. Так, например, для шахты им. Кирова при обработке пласта «Болдыревский» снижение метановыделения начинается при производительности 6 тыс. т/сут – для очистного забоя 24-40, 10 тыс. т/сут – для очистного забоя 24-45 и 11 тыс. т/сутки для – очистного забоя 24-57.

Таким образом, статистический анализ, проведенный по 76 очистным забоям, с высокой степенью достоверности подтверждает тенденцию снижения абсолютного метановыделения из отбитого угля при высокой производительности очистного забоя.

Обоснование моделей интенсивности метановыделения на угольных шахтах. Результаты экспериментальных исследований.

$$Q(v) = \frac{180vmrk_1(P - P_a)}{\mu} \sum_{i=1}^k \frac{\beta_i(v)}{R_i^2} = \frac{180vmrk_1(P - P_a)}{\mu} \sum_{i=1}^k \frac{\pm a_i v + b_i}{R_i^2} = 180mrk_1 \mu^{-1} (P - P_a) (-cv^2 + d), \quad (1)$$

где k – количество фракций отбитого угля; v – скорость подачи очистного комбайна, м/мин; m – мощность пласта, м; r – ширина захвата комбайна, м; k_1 – коэффициент проницаемости угля; P, P_a – соответственно поровое давление газа внутри частицы угля и атмосферное давление в забое, Па; μ – абсолютная вязкость среды на пути фильтрации метана, Па·с; $\beta_i(v)$ – зависимость выхода класса i -й фракции от скорости движения очистного комбайна, %; R_i – средний радиус частицы отбитого угля i -й фракции, м; a_i, b_i – коэффициенты линейных зависимостей выхода фракций от скорости подачи комбайна; c, d – коэффициенты параболической зависимости суммарного дебита метана от всех фракций угля.

Таким образом, на основании статистического анализа данных аэрогазового контроля по 76 очистным забоям Кузбасса и с учетом статистических данных выхода отдельных фракций угля установлена параболическая зависимость метановыделения из

Теоретическое объяснение снижения метановыделения из отбитого угля при высокой производительности очистного комбайна дано авторами в [6, 7]. Суть этого явления заключается в том, что с увеличением скорости подачи и производительности очистного комбайна изменяется фракционный состав отбитого угля, а именно, снижается выход мелких фракций и увеличивается выход класса крупных фракций. Зависимости выхода фракций от скорости подачи на основании статистических данных [5] имеют линейный характер, а суммарный дебит метана от всех фракций отбитого угля в соответствии с законом А. Дарси определяется в этом случае параболической зависимостью от скорости подачи комбайна:

отбитого угля, имеющая максимум относительно скорости подачи и производительности очистного комбайна.

Аналогичные параболические зависимости получены в [8] на основании статистического анализа работы очистных забоев на шахте им. А. Ф. Засядько в Донбассе.

Следует заметить, что все параболические зависимости метановыделения от производительности очистного комбайна получены с помощью статистических методов и, несмотря на достаточно высокие показатели надежности регрессионных связей, все же не раскрывают физику этого явления. Статистика не объясняет физический процесс снижения дебита метана при высокой скорости подачи и производительности очистного комбайна.

Теоретическое объяснение этого эффекта дано авторами в работе [7], в которой на основании закона А. Дарси и уравнения сорбции И. Ленгмюра, а также на основании связи скорости подачи с толщиной стружки и



частотой вращения шнека выведены экстремальные (имеющие точки максимума) зависимости дебита метана от скорости подачи (v)

и производительности (A) очистного комбайна:

$$Q(v) = \frac{720mrk_1(0,9X(1+bP_a) - abP_a)}{\mu b(a - 0,9X) \left(\frac{v}{(\pi n n_1)^2} + \frac{h_p}{\pi n n_1} + \frac{0,25h_p^2}{v} \right)}, \text{ м}^3/\text{мин},$$

$$Q(A) = mLq + \frac{720k_1(0,9X(1+bP_a) - abP_a)_a}{\mu b(a - 0,9X) \left(\frac{A}{\gamma(mr\pi n n_1)^2} + \frac{h_p}{mr\pi n n_1} + \frac{0,25\gamma h_p^2}{A} \right)}, \text{ м}^3/\text{мин},$$
(2)

где a , b – постоянные изотермы И. Ленгмюра, для угля определяемые по [10]: $a = 49,3 \text{ м}^3/\text{т}$, $b = 0,207 \cdot 10^{-6} \text{ 1/Па}$; n – частота вращения шнека, мин^{-1} ; n_1 – количество резцов на лопастях шнека в одной линии резания; h_p – расстояние между резцами на лопастях шнека;

X – природная метаноносность угля, $\text{м}^3/\text{т}$; L – длина лавы, м; q – дебит метана из угольного пласта, $\text{м}^3/\text{мин}$; γ – плотность угольной массы, $\text{т}/\text{м}^3$.

Таблица 1

Регрессионные зависимости метановыделения (Q , $\text{м}^3/\text{мин}$) из отбитого угля от производительности (A , $\text{т}/\text{сут}$) очистного комбайна

Regression dependences of methane release (Q , m^3/min) from the loose coal on the productivity (A , t/day) of a shearer

№	Очистной забой	Регрессионная зависимость	Коэффициент аппроксимации, R^2	Коэффициент регрессии, R	Размер выборки	Среднеквадратическое отклонение, σ	Коэффициент надежности связи, $k = R/\sigma > 3$
Шахта им. Кирова							
Пласт Болдыревский							
1	24-40	$Q = -1 \cdot 10^{-7} A^2 + 0,0012A + 0,443$	0,94	0,97	13	0,017	58,26
2	24-45	$Q = -3 \cdot 10^{-8} A^2 + 0,0006A + 0,855$	0,84	0,92	20	0,036	5,62
3	24-57	$Q = -5 \cdot 10^{-8} A^2 + 0,0011A + 1,02$	0,82	0,91	14	0,048	18,82
4	24-59	$Q = -1 \cdot 10^{-7} A^2 + 0,0019A + 2,42$	0,69	0,83	25	0,062	13,40
Пласт Поленовский							
5	25-85	$Q = -3 \cdot 10^{-8} A^2 + 0,0008A + 1,225$	0,89	0,94	20	0,025	38,35
6	25-86	$Q = -7 \cdot 10^{-8} A^2 + 0,001A + 0,654$	0,9	0,95	18	0,024	40,25
Шахта «Заречная», пласт Польсаевский-1							
7	904	$Q = -2 \cdot 10^{-8} A^2 + 0,0005A + 0,632$	0,74	0,86	16	0,068	13,23
Шахта «Есаульская», пласт 26а							
8	26-30	$Q = -1,5 \cdot 10^{-7} A^2 + 0,0015A + 0,64$	0,8	0,89	11	0,06	14,83
9	26-18	$Q = -3 \cdot 10^{-8} A^2 + 0,001A + 1,341$	0,8	0,89	10	0,063	14,14
Шахта «Абашевская», пласт 64							
10	64-204	$Q = -1,56 \cdot 10^{-7} A^2 + 0,0012A + 0,61$	0,74	0,86	13	0,072	11,93
Шахта «Талдинская-Западная-1», пласт 67							
11	67-04	$Q = -1 \cdot 10^{-7} A^2 + 0,0017A + 0,45$	0,85	0,92	15	0,039	23,8
Шахта «Котинская», пласт 52							
12	5203	$Q = -7 \cdot 10^{-9} A^2 + 0,0003A + 3,02$	0,17	0,41	52	0,115	3,6
13	5209	$Q = -1 \cdot 10^{-8} A^2 + 0,0008A + 6,02$	0,59	0,77	49	0,059	13,1
Шахта им. В.Д. Ялевского, пласт 52							
14	5210	$Q = -7 \cdot 10^{-9} A^2 + 0,0005A + 1,64$	0,63	0,79	41	0,058	13,74
Шахта им. 7 Ноября, пласт Байкаимский							
15	1380	$Q = -3 \cdot 10^{-8} A^2 + 0,0007A + 0,97$	0,54	0,73	26	0,09	8,15
Шахта «Талдинская-Западная-2», пласт 70							
16	70-06	$Q = -7 \cdot 10^{-9} A^2 + 0,0002A + 0,97$	0,49	0,7	31	0,092	7,64
...
...
Шахта «Распадская», пласт 10							
76	4-1029	$Q = -3 \cdot 10^{-8} A^2 + 0,001A + 1,64$	0,93	0,96	26	0,014	70,25

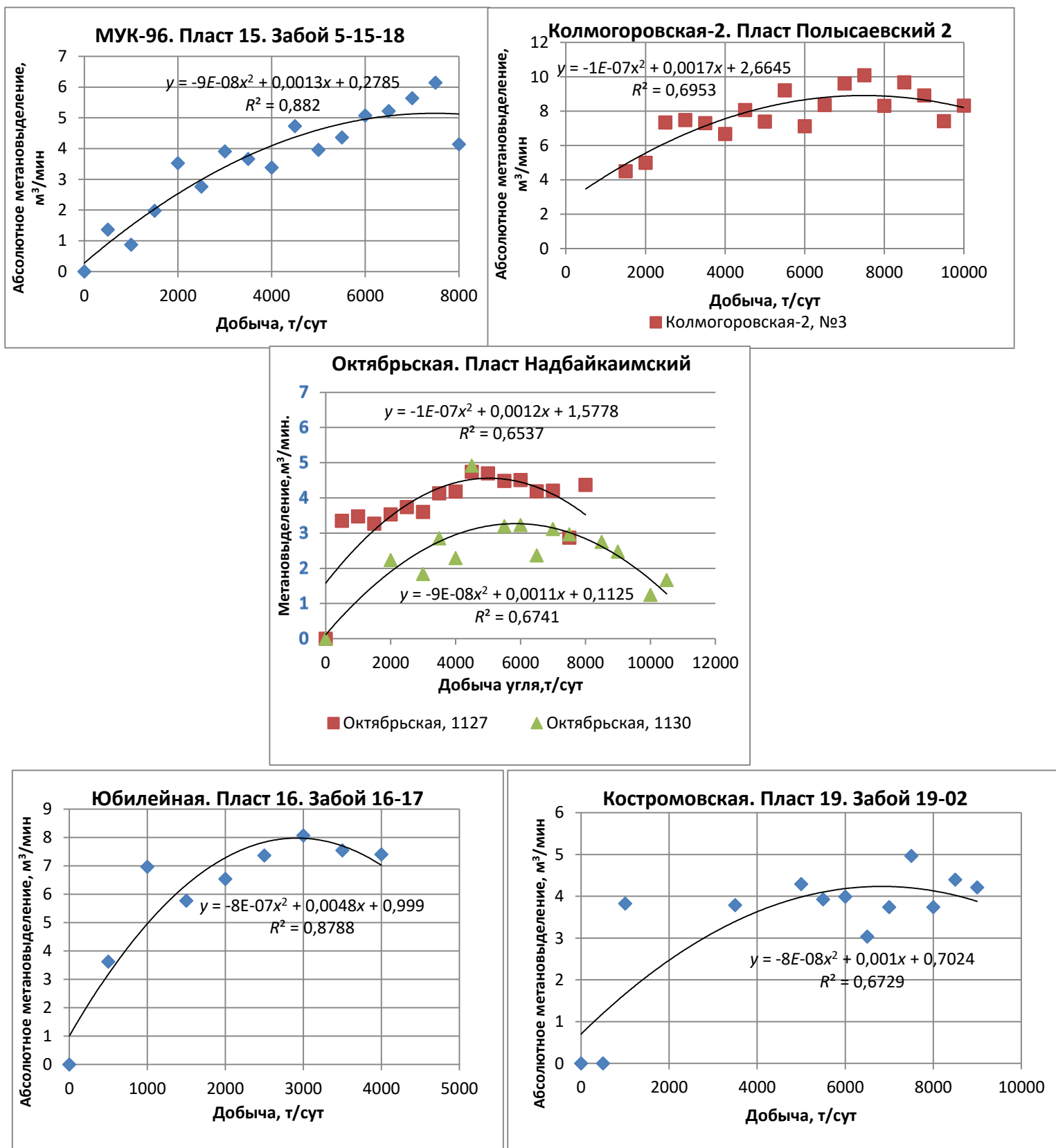


Рис. 2. Фактические данные и регрессионные зависимости абсолютного метановыделения от производительности очистного забоя на шахтах «МУК-96», «Колмогоровская-2», «Октябрьская», «Юбилейная», «Костромовская»

Fig. 2. Actual data and regression dependences of absolute methane release on the working face performance at the MUK-96, Kolmogorovskaya-2, Oktyabrskaya, Yubileynaya, Kostromovskaya collieries

Анализ зависимостей (2) показывает, что метановыделение является функцией, обратно пропорциональной линейно-гиперболической зависимости, и имеет точку максимума относительно скорости подачи и производительности очистного комбайна (рис. 3). Как видно на рис. 3, теоретическая кривая метановыделения (2) хорошо описывает данные фактического дебита метана в лаве и значительно отличается от нормативной зависимости, изображенной на рис. 1. Метановыделение из отбитого угля значительно, в квадратической зависимости, снижается при уменьшении частоты вращения шнека и количества резцов в линии резания или количества лопастей на шнеке. Метановыделение также в квадратической зависимости растет с увеличением мощности пласта и ширины захвата комбайна.

В связи с существованием точки максимума дебита метана изменяется методология расчета допустимой производительности очистного забоя по газовому фактору. По существующим инструкциям [2–4] рассчитывается значение максимально допустимой производительности (A_{\max}) очистного забоя по формуле

$$A \leq A_{\max} = \frac{0,6v_{\max}Sk_{O_3}c}{k_e K_{\text{пл}}(q - q_0)K_{\text{WA}}}, \text{ т/мин, (3)}$$

где $v_{\max} = 4$ м/с – максимально допускаемая по правилам безопасности [11] скорость воздушной струи в очистном забое; S – площадь поперечного сечения лавы в свету, м²; $k_{O_3} = 1,05 \div 1,30$ – коэффициент, учитывающий утечки воздуха в выработанное пространство; $c = 1\%$ – допускаемая по ПБ концентрация метана на исходящей струе воздуха из лавы; q, q_0 – соответственно природная и остаточная метаноносность угля, м³/т; K_{WA} – коэффициент, учитывающий содержание в угле природной влаги и золы; k_e – коэффициент естественной дегазации массива угля в полосе заходки выемочной машины.

Как видно на рис. 4, существование экстремальной функции концентрации метана формирует область недопустимых значений скорости подачи и соответствующей производительности очистного комбайна:

$$\begin{aligned} v_{\min} < v < v_{\max}; \\ A_{\min} < A < A_{\max}; \\ A_{\max} &= \gamma mrv_{\max} \end{aligned} \quad (4)$$

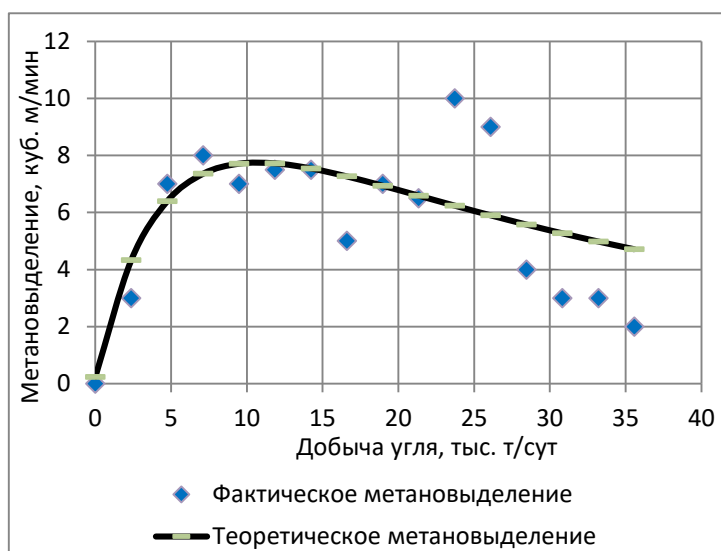


Рис. 3. Теоретическая зависимость (2) и фактическое метановыделение в лаве 5203 шахты «Котинская»

Fig. 3. Theoretical dependence (2) and actual methane release in longwall 5203 of the Kotinskaya colliery

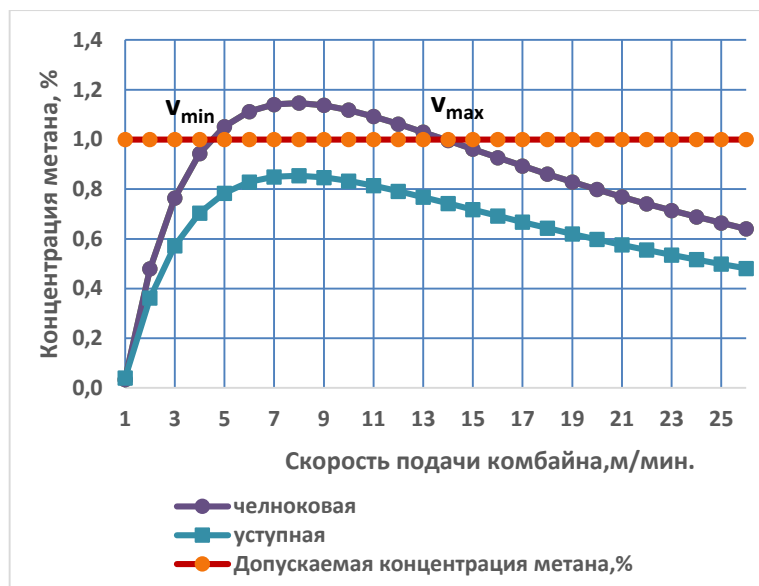


Рис. 4. Зависимости концентрации метана на исходящей струе лавы 5005 шахты им. В. Д. Ялевского от скорости подачи комбайна для челноковой и уступной технологических схем

Fig. 4. Dependencies of methane concentration in upcast in longwall 5005 of the Named after V. D. Yalovsky colliery on shearer rate of advance for shuttle and benched process flow sheets

и соответственно область допустимых значений производительности очистного забоя по газовому фактору заключается в выполнении одного из двух условий в зависимости от мощности комбайна:

$$A < A_{\min} \vee A > A_{\max}, \quad (5)$$

где v_{\min} , v_{\max} , A_{\min} , A_{\max} – граничные значения соответственно скорости подачи и производительности очистного комбайна по газовому фактору.

В частности, для лавы 5005 шахты им. В.Д. Ялевского эти граничные значения для челноковой технологической схемы соответственно составляют (рис. 4):

$$v_{\min} = 4,8 \text{ м/мин}, v_{\max} = 14,0 \text{ м/мин};$$

$$A_{\min} = 19,5 \text{ т/мин}, A_{\max} = 57 \text{ т/мин}.$$

На шахте им. В.Д. Ялевского осуществили максимальный вариант допустимой нагрузки на очистной забой и отработали выемочный столб пласта 50 со скоростью очистного комбайна SL-900, превышающей 14 м/мин, и суточной нагрузкой более 50 тыс. т/сут.

Очевидно, что технологическая безопасность всего горного предприятия, добывающего уголь, будет зависеть от режимов

метановыделения. Значительное число исследований посвящено этому вопросу в России и за рубежом, но при решении задач технологической безопасности всегда потребуется достоверная расчетная модель метановыделения, связанная с технологическими режимами ведения горных работ [10–20].

Выводы

На основании статистического анализа данных аэрогазового контроля по 76 очистным забоям 33 шахт Кузбасса с высокой степенью достоверности установлена параболическая закономерность метановыделения из отбитого угля, имеющая максимум относительно скорости подачи и производительности очистного комбайна.

Теоретическое объяснение эффекта снижения метановыделения из отбитого угля при высокой производительности очистного комбайна заключается в том, что с увеличением скорости подачи и производительности очистного комбайна изменяется фракционный состав отбитого угля, а именно, снижается выход мелких фракций и увеличивается выход класса крупных фракций.

С использованием закона А. Дарси и уравнения сорбции И. Ленгмюра установлено, что метановыделение является функцией, обратно пропорциональной линейно-гиперболической зависимости, и имеет точку максимума относительно скорости подачи и производительности очистного комбайна.

Анализ установленной зависимости дебита метана из отбитого угля показывает, что метановыделение значительно, в квадратической зависимости, снижается при уменьшении частоты вращения шнека и количества резцов в линии резания или количества лопастей на шнеке. Метановыделение также в квадратической зависимости растет с увеличением мощности пласта и ширины захвата комбайна.

Библиографический список

1. Тимошенко А.М., Баранова М.Н., Никифоров Д.В. и др. Некоторые аспекты применения нормативных документов при проектировании высокопроизводительных выемочных участков угольных шахт. *Вестник НЦ ВостНИИ*. 2010;1:5–15.
2. *Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт*. МакНИИ, Основа. Киев, 1994. 158 с.
3. Гращенков Н.Ф., Петросян А.Э., Фролов М.А. и др. *Рудничная вентиляция*: Справочник под ред. К. З. Ушакова. М.: Недра; 1988. 439 с.
4. *Инструкция по применению схем проветривания выемочных участков шахт с изолированным отводом метана из выработанного пространства с помощью газоотсасывающих установок*. Утверждена приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 01.12.2011 № 680. М.; 2011.
5. Забурдяев Г.С., Новикова И.А., Подображин А.С. Метано- и пылевыведение в процессе работы шнековых исполнительных органов. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2008;(53):243-249.
6. Ордин А.А., Тимошенко А.М. О влиянии фракционного состава угля на метановыделение в очистном забое. *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. 2016;(3):104–109.
7. Ордин А.А., Тимошенко А.М. Нелинейные зависимости метановыделения от природной метаносности угольного пласта и кинематических параметров резцов очистного комбайна. *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. 2017;(2):110–116.
8. Бокий А.Б. Влияние уровня угледобычи на дебит парниковых газов в очистную выработку. *Сб. науч. тр. «Геотехническая механика»*. Днепропетровск. 2010;(88):247-255.
9. Плотников В.П. Вывод формулы для расчета производительности очистных комбайнов со шнековым, барабанным или корончатым исполнительным органом. *Уголь*. 2009;(9):5–7.
10. Семькин Ю.А. *Повышение безопасности добычи угля на основе интенсификации газовой выделенности из пластовых скважин и совершенствования метода прогноза газообильности очистного забоя*: Дис. ... канд. техн. наук. М.: НИТУ «МИСиС», 2016.
11. *Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности в угольных шахтах»*. Сер. 05. ЗАО «НТЦИППБ», 2017. Вып. 40. 198 с.
12. Плакиткина А.С. *Анализ и перспективы развития угольной промышленности основных стран мира, бывшего СССР и России в период до 2030 г.* М.: ИНЭИ РАН; 2013. 415 с.
13. Никольский А.М., Коваленко А.А., Тишков М.В., Неверов А.А., Неверов С.А. *Технология подземной отработки подкарьерных запасов в сложных горно-геологических и горнотехнических условиях*. Новосибирск: Наука, 2017. 328 с.
14. Conroy P. J., Curth E. A. *Longwall Mining in Illinois, Longwall- Shortwall Mining State-of-the-Art*. SME-AIME; 1981.
15. Peng S. S., Chiang Y. S. *Longwall mining*. John Wiley & Song Inc., New York; 1984. 135 p.

Экстремальная зависимость дебита метана из отбитого угля формирует две области допустимых значений скорости подачи и производительности очистного комбайна по газовому фактору.

Таким образом, необходимо внести изменения в существующие методические подходы к расчету дебита метана в высокопроизводительных очистных забоях с целью учета экстремальной зависимости метановыделения от скорости подачи и производительности очистного комбайна, а при расчете допустимой нагрузки на очистной забой по газовому фактору следует учесть возможность снижения дебита метана при значительном увеличении скорости подачи и производительности очистного комбайна.

16. Yu Shou Liu. *Analysis of different techniques for respirable dust control in longwall operations – particularly in reference to the Bull Seam*. Southern Coal Field. Australia; 1992. 86 p.
17. Winter J., Pineau J.P. *Effect of Nitrogen on Methane and Coal Dust Explosion in galleries*. Archivum Combustionis. (1–4).
18. Mc Pherson M. The Westray Mine Explosion. In: *Proceedings of the 7th International Mine Ventilation Congress*. Krakow, EMAGE; 2001.
19. Feng K.K. Hazardous character of Canadian coal dusts. In: *Proceedings of the 20th International Conference of Safety in Mines. Schelfield*. Health and Safety Executive ed.; 1983.
20. Eckhoff R. *Dust explosions in the process Industries*. Oxford, Butterworth–Haniemann; 1991.

References

1. Timoshenko A. M., Baranova M. N., Nikiforov D. V., et al. Some aspects of the application of regulatory documents in designing high-performance extraction districts in coal mines. *Vestnik Nauchnogo centra VostNII*. 2010;1:5–15. (In Russ.).
2. *Coal Mine Ventilation Design Guide*. MakNII, Osnova Publ., Kiev; 1994. 158 p. (In Russ.).
3. Grashchenkov N. F., Petrosyan A. E., Frolov M. A. et al. *Mine Ventilation: Handbook*. Ed. K.Z. Ushakov, Moscow: Nedra Publ; 1988. 439 p. (In Russ.).
4. *Instruction for the use of mine extraction district ventilation diagram at isolated methane removal from mined-out space using gas-suction plants*. Approved by Order of the Federal Service for Ecological, Technological and Nuclear Supervision No. 680 of 12.01.2011. Moscow; 2011 (In Russ.).
5. Zaburdyayev G. S., Novikova I. A., Podobrazin A. S. Methane and dust emission during operation of auger operating devices. *Mining Information and Analytical Bulletin*. 2008;(53):243-249. (In Russ.).
6. Ordin A.A., Timoshenko A. M. About influence of coal fractional composition on methane release at production face. *Fiziko-tehnicheskie problemy razrabotki poleznyh iskopaemyh*. 2016;(3):104–109. (In Russ.).
7. Ordin A. A., Timoshenko A. M. Nonlinear dependences of methane release on natural methane content of a coal seam and on kinematic parameters of shearer cutters. *Fiziko-tehnicheskie problemy razrabotki poleznyh iskopaemyh*. 2017;2:110–116 (In Russ.).
8. Bokiya A. B. Effect of the level of coal production on the rate of release of greenhouse gases to stopes. In: *Collection of research papers "Geotechnical Mechanics"* Dnepropetrovsk. 2010;(88):247-255. (In Russ.).
9. Plotnikov V. P. Derivation of the formula for calculating the performance of shearers with auger, drum, or crown operating device. *Ugol'*. 2009;(9):5–7. (In Russ.).
10. Semykin Yu. A. *Improving safety of coal mining based on intensification of gas release from formation boreholes and improving the method for predicting gas content at production face*. Ph.D. thesis in Engineering Science. Moscow: NITU MISiS; 2016. (In Russ.).
11. *Federal norms and rules for industrial safety "Safety rules in coal mines"*. Series 05. CJSC NTTsIPPB. 2017;40. 198 p. (In Russ.).
12. Plakitkina A.S. *Analysis and prospects of development of coal industry in developed countries, the former USSR, and Russia up to 2030*. Moscow: INEI RAS Publ.; 2013. 415 p. (In Russ.).
13. Nikolsky A.M., Kovalenko A.A., Tishkov M.V., Neverov A.A., Neverov S.A. *Method of underground mining of under-pit reserves in difficult mining and geological conditions*. Novosibirsk: Nauka Publ. 2017; 328 p. (In Russ.).
14. Conroy P. J., Curth E. A. *Longwall Mining in Illinois, Longwall- Shortwall Mining State-of-the-Art*. SME-AIME; 1981.
15. Peng S. S., Chiang Y. S. *Longwall mining*. John Wiley & Song Inc., New York; 1984. 135 p.
16. Yu Shou Liu. *Analysis of different techniques for respirable dust control in longwall operations – particularly in reference to the Bull Seam*. Southern Coal Field. Australia; 1992. 86 p.
17. Winter J., Pineau J.P. *Effect of Nitrogen on Methane and Coal Dust Explosion in galleries*. Archivum Combustionis. (1–4).
18. Mc Pherson M. The Westray Mine Explosion. In: *Proceedings of the 7th International Mine Ventilation Congress*. Krakow, EMAGE; 2001.
19. Feng K.K. Hazardous character of Canadian coal dusts. In: *Proceedings of the 20th International Conference of Safety in Mines. Schelfield*. Health and Safety Executive ed.; 1983.
20. Eckhoff R. *Dust explosions in the process Industries*. Oxford, Butterworth–Haniemann; 1991.

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ / ORIGINAL PAPERS

DOI: 10.17073/2500-0632-2020-2-92-103

Оценка гравитационной обогатимости золотосодержащей руды – GRG

Суримбаев Б. Н., Каналы Е. С., Болотова Л. С., Шалгымбаев С. Т.

Филиал Республиканского государственного предприятия «Национальный центр по комплексной переработке минерального сырья Республики Казахстан» Государственное научно-производственное объединение промышленной экологии «Казмеханообр»
 (Филиал РГП «НЦ КПМС РК» ГНПОПЭ «Казмеханообр»), г. Алматы, Казахстан

Аннотация: Гравитационные методы широко применяются при переработке золотосодержащих руд. Но многие аспекты этого направления обогащения требуют совершенствования. В работе использованы методы пробирно-гравиметрического, химического, минералогического анализов золотосодержащей руды. Золотосодержащая руда по содержанию сульфидной серы и степени окисления серы отнесена к убогосульфидному типу руды первичной зоны. По данным минералогического анализа, руда представлена глинисто-сланцевыми сланцами. Золото в рудах находится в виде свободных крупных и мелких зерен, преобладает золото свободное. Мелкое золото тесно ассоциируется с пиритом. Для оценки гравитационной обогатимости золотосодержащей руды проведен GRG-тест. Суммарное извлечение золота составляет более 41 %. Наиболее высокие показатели извлечения золота получены на первой стадии при крупности 100 % класса –1,6 мм и третьей стадии при крупности 80 % класса –0,071 мм. Это указывает на то, что в руде присутствуют и относительно крупные золотины, и мелкие свободные, что подтверждается минералогическим анализом. Результаты GRG-теста показали, что золотосодержащая руда эффективно обогащается на центробежных концентраторах. Уровень извлечения золота гравитацией при стадийном измельчении руды достаточно высок. При разработке технологической схемы обогащения руды необходимо предусмотреть гравитационное обогащение на центробежных концентраторах.

Ключевые слова: гравитационные методы обогащения, GRG-тест, золотосодержащая руда, оценка гравитационной обогатимости руды, обогащение золота, центробежные концентраторы.

Для цитирования: Суримбаев Б. Н., Каналы Е. С., Болотова Л. С., Шалгымбаев С. Т. Оценка гравитационной обогатимости золотосодержащей руды – GRG. *Горные науки и технологии*. 2020;5(2):92-103. DOI: 10.17073/2500-0632-2020-2-92-103.

Assessment of Gravity Dressability of Gold Ore – GRG Test

B. N. Surimbayev, E. S. Kanaly, L. S. Bolotova, S. T. Shalgymbayev

"State Scientific and Production Concern for Industrial Ecology "Kazmekhanobr" (Branch of Republican State Enterprise "National Center for Integrated Processing of Mineral Resources of the Republic of Kazakhstan"),
 Almaty, Kazakhstan

Abstract: Gravity methods are widely used for processing of gold ores. But many aspects of these processing techniques require improvement. In the study, methods of fire assay, gravimetric, chemical, mineralogical analyses of gold ores were used. In terms of sulfide sulfur content and degree of sulfur oxidation, the gold ore is assigned to the low-sulfide type of ore in the primary zone. Mineralogical analysis showed the ore-bearing rock is represented by phyllite. Gold in the ore occurs mainly in the form of free large and fine particles. The fine gold is closely associated with pyrite. GRG test was carried out for assessing gravity dressability of the gold ore. The total gold recovery is more than 41 %. The highest gold recoveries were achieved at the first stage at 100 % of –1.6 mm ore grain size, and at the third stage at 80 % of –0.071 mm ore grain size. This indicates that both relatively large gold and fine free gold particles are present in the ore. This is also confirmed by mineralogical analysis. The GRG test results showed that the gold ore can be effectively concentrated using centrifugal concentrators. The level of gold recovery by gravity at the multi-stage ore grinding is quite high. When developing the ore concentration process flow sheet, gravity separation in centrifugal concentrators should be included.

Keywords: gravity separation methods, GRG test, gold ore, assessment of gravity dressability of gold ore, gold ore concentration, centrifugal concentrators.



For citation: Surimbayev B. N., Kanaly E. S., Bolotova L. S., Shalgymbayev S. T. Assessment of gravity dressability of gold ore – GRG test. *Gornyye nauki i tekhnologii = Mining Science and Technology (Russia)*. 2020;5(2):92-103. (In Russ.). DOI: 10.17073/2500-0632-2020-2-92-103.

Введение

Гравитационное обогащение – это разделение минералов на основе разницы в плотности. Техника гравитационного обогащения существует уже тысячелетия [1, 2]. Несмотря на широкое применение флотационных методов обогащения, а также магнитной и электрической сепарации, гидрометаллургических процессов, гравитационные методы обогащения не теряют своей актуальности, а технологические схемы и аппаратура непрерывно совершенствуются [3, 4]. Все методы гравитационного обогащения реализуются при сравнительно низких капитальных и эксплуатационных расходах, являются высокопроизводительными и экологически чистыми. Гравитационное обогащение практически не имеет альтернативы при переработке руд россыпных месторождений, значительно удаленных от инфраструктуры [5–7].

За последние десятилетия все большее распространение находят центробежные аппараты для более глубокой переработки минерального сырья [3–5]. Для определения доли золота, извлекаемого из руды (песков) при помощи гравитации, используется центробежный концентратор Нельсона (Knelson). Данный метод, ставший стандартным в обогащении, предоставляет ценную информацию по извлекаемости золота гравитацией, а также возможность сравнения обогатимости различных руд. При исследованиях определяется не только доля гравитационного золота, но и его реальная крупность [8–14].

При гравитационной переработке золото-содержащих руд возможны потери на стадии измельчения, так как крупные частицы золота переизмельчаются и наклепываются на стенки мельницы. Впервые, чтобы уменьшить потери на стадии измельчения, профессором канадского Университета Макгилла Андре Лаплантом (Andre Laplante) был разработан специальный GRG-тест (Gravity recoverable gold test),

позднее методика была усовершенствована компанией Нельсона (Knelson) [15–22].

По данной методике количество золота, извлекаемого в GRG-тесте, характеризует обогатимость руды гравитационными методами. Схема GRG-теста базируется на факте, что ступенчатое измельчение руды позволяет проводить извлечение благородных металлов при их раскрытии без переизмельчения и истирания крупных частиц металла. GRG-тест состоит из трех последовательных стадий раскрытия минералов и трех стадий обогащения. При ступенчатом измельчении максимально точно определяется содержание гравитационно-извлекаемого золота [17–19, 23, 24].

Целью работы является оценка гравитационной обогатимости золотосодержащей руды методом GRG-теста.

Объект и методы исследования

Объектом исследований является золото-содержащая руда одного из месторождений Казахстана в Костанайской области. По результатам пробирно-гравиметрического анализа среднее содержание золота в руде составляет 1,60 г/т, серебра – 3,49 г/т.

Для выполнения анализа по другим элементам использовали химическое разложение и определение атомно-абсорбционным методом содержания сопутствующих металлов. Для фазового анализа на серу использовали химический весовой метод. Химический состав руды представлен в табл. 1.

Комплексный минералогический анализ проведен с использованием рентгенофазового, микроскопического и оптического методов. Пробы изучались под микроскопом в прозрачных шлифах, аншлифах, искусственных брикетах и иммерсионных средах. Зерна золота изучали на электронном микроанализаторе марки JEOL JXA-8230 Electron Probe Microanalyzer.

Химический состав золотосодержащей руды**Chemical composition of gold ore**

Компонент	Содержание, %	Компонент	Содержание, %
Cu	0,004	K ₂ O	1,58
Ni	0,001	SiO ₂	67,29
Co	0,003	Al ₂ O ₃	12,38
Zn	0,005	As	0,02
Pb	0,002	Sb	0,01
Fe	3,67	S _{общ.}	0,30
CaO	1,96	S _{сульфидная}	0,29
MgO	1,10	S _{сульфатная}	0,01
Na ₂ O	2,07	Степень окисления серы	3,33

Примечание.**Тип руды:**

- по степени окисления серы – первичная;
- по количеству сульфидной серы – убогосульфидная.

Note.**Ore type:**

- based on sulfur oxidation degree – primary;
- based on sulfide sulfur content – low-sulfide.

Рентгенодифрактометрический анализ средних проб выполнен на дифрактометре ДРОН-4 с CuKa-излучением, β-фильтр. Условия съемки дифрактограмм: U = 35 кВ; I = 20 мА; съемка θ–2θ; детектор – 2 град/мин.

Рентгенофазовый анализ на полуколичественной основе проведен по дифрактограммам порошковых проб с применением метода равных навесок и искусственных смесей. Определялись количественные соотношения кристаллических фаз. Интерпретация дифрактограмм проводилась с использованием данных картотеки ICDD: база порошковых дифрактометрических данных PDF2 (Powder Diffraction File) и дифрактограмм чистых от примесей минералов. Для основных фаз проводился расчет содержаний.

Оценку гравитационной обогатимости золотосодержащей руды методом GRG-теста проводили на центробежном концентраторе Нельсона (КС-MD3) при следующих режимах: центробежное ускорение – 60G; расход флюидизирующей воды – 3,5 дм³/мин; производительность по твердому – 0,5–0,6 кг/мин; избыточное давление флюидизирующей воды – 10–14 кПа; содержание твердого в пульпе, подаваемой на гравитационное обогащение, – 25–30 %.

Методика проведения GRG-теста.

GRG-тест проводился на пробе руды массой

10 кг на концентраторе Нельсона (КС-MD3). Данный тест проводят в три стадии. На 1-й стадии руду массой 10 кг дробили до крупности 100 % класса –1,6 мм и дробленую руду пропускали через концентратор Нельсона. Далее хвосты первой стадии доизмельчали до крупности 80 % класса –0,3 мм и пропускали через концентратор Нельсона. На 3-й стадии хвосты 2-й стадии доизмельчали до крупности 80 % класса –0,071 мм. Во время процесса на всех стадиях из хвостов отбирали пробы для анализа и составления технологического баланса. Полученные продукты обогащения (концентраты и хвосты) анализировались пробирно-гравиметрическим методом [18, 23].

Схема проведения GRG-теста дана на рис. 1.

Результаты исследований и их обсуждение

Золотосодержащая руда по содержанию сульфидной серы и степени окисления серы отнесена к убогосульфидному типу руды первичной зоны.

По данным минералогического анализа, руда представлена глинисто-слюдистыми сланцами, в различной степени измененными: окварцованными, альбитизированными, калишпатизированными и карбонатизированными (рис. 2–4).

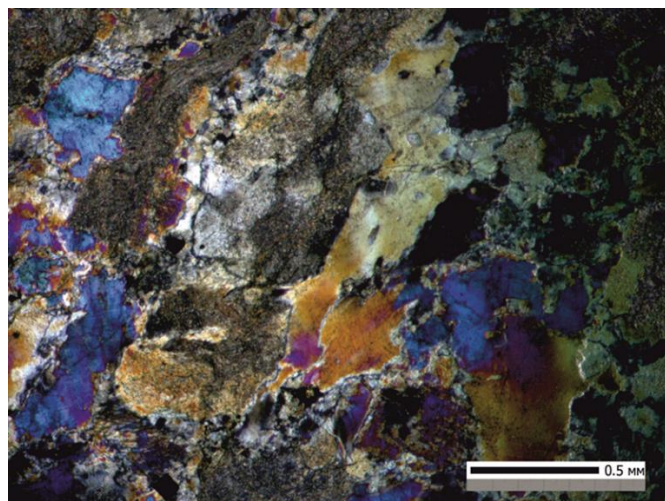


Рис. 3. Окварцованный, альбитизированный и калишпатизированный сланец; прозрачный шлиф, $\times 40$
 Fig. 3. Silicified, albitized and feldsparized shale; thin section, $\times 40$

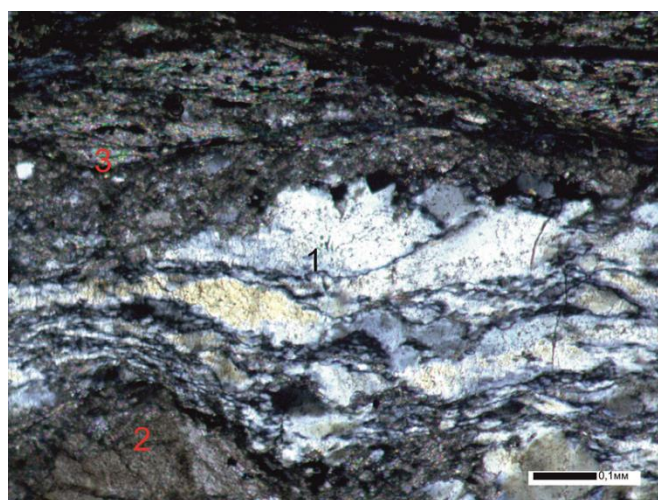


Рис. 4. Сланец глинисто-сланцевый, окварцованный и доломитизированный; шлиф, $\times 100$:
 1 – кварц; 2 – доломит; 3 – мусковит

Fig. 4. Silicified and dolomitized phyllite; thin section, $\times 100$:
 1 – quartz; 2 – dolomite; 3 – muscovite

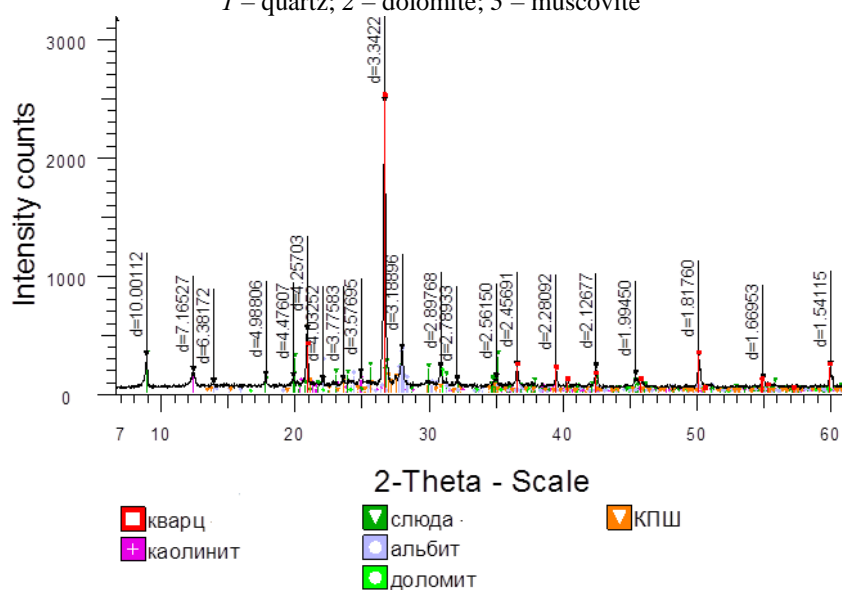


Рис. 5. Дифрактограмма средней пробы
 Fig. 5. X-ray diffraction pattern of averaged sample

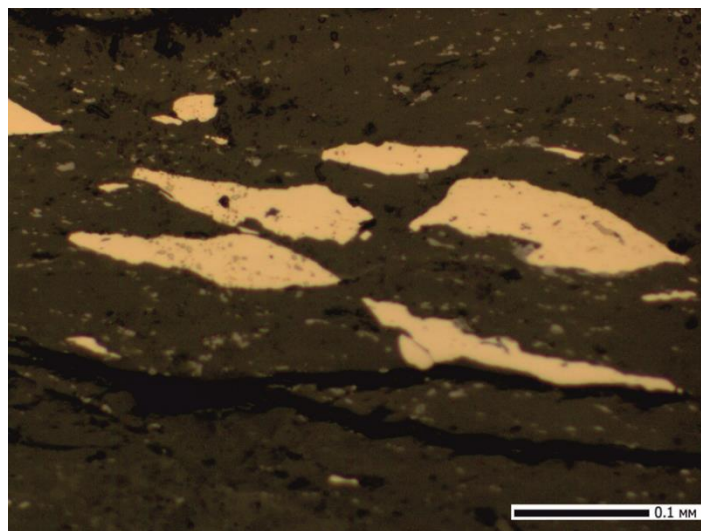


Рис. 6. Пирит удлинённый, ориентированный вдоль слоистости породы; аншлиф, ×200
Fig. 6. Pyrite: elongated, oriented along the rock bedding; polished section, ×200

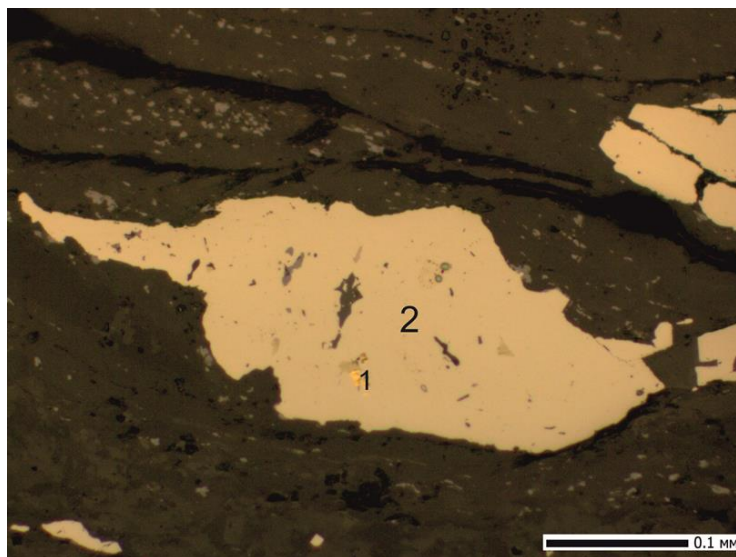


Рис. 7. Золото (1) в пирите (2); аншлиф, ×200
Fig. 7. Gold (1) in pyrite (2); polished section, ×200

Идентификация минеральных фаз по данным рентгендифрактометрического анализа приведена на дифрактограмме (рис. 5).

Минеральный состав средней пробы следующий (%): *рудные*: пирит – 0,5–1,0; арсенопирит – 0,1–0,2; оксиды и гидроксиды железа – 6–7; халькопирит и сульфосоли свинца – значимые значения; *породообразующие*: кварц – 46–47, каолинит – 20–21, слюда – 9–10, калишпат – 2, альбит – 9–10, доломит – 5–6. В рудном веществе средней пробы пирит образует кристаллически-зернистые агрегаты, которые имеют зерна удлиненной формы, ориентированные в направлении сланцеватости пород (рис. 6). Следует отметить,

что большая часть железа в пробе представлена в окисленной форме.

Золото в рудах находится в виде свободных крупных и мелких зерен. Преобладает золото свободное пластинчатое размером от 0,06 до 0,20 мм. Мелкое золото тесно ассоциируется с пиритом, образуя в нем дисперсные включения размером 0,005, 0,007, 0,015 мм (рис. 7).

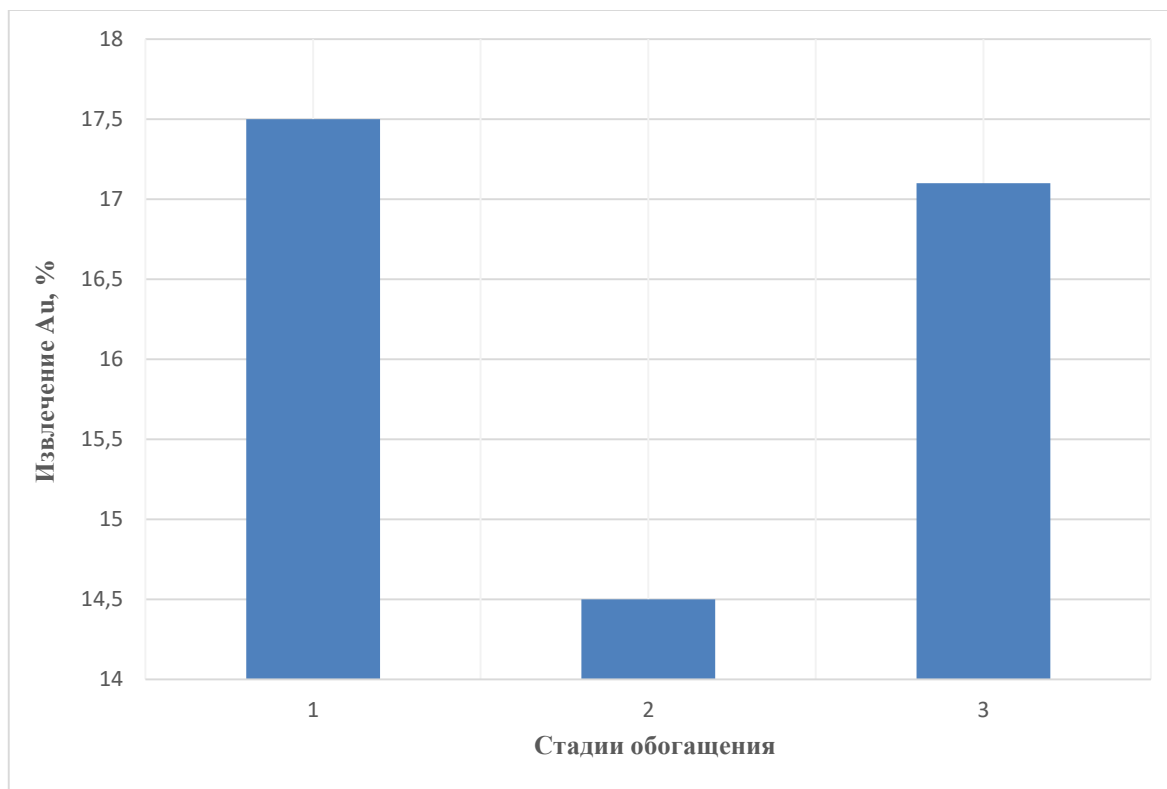
По результатам пробирного, химического и минералогического анализов, промышленно-ценным компонентом является только золото.

Для оценки гравитационной обогатимости золотосодержащей руды проведен GRG-тест. Результаты GRG-теста приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты GRG-теста**GRG test results**

Продукт	Выход		Содержание Au, г/т	Распределение Au, %
	г	%		
1-я стадия 100 % класса –1,6 мм				
Концентрат 1	115,9	1,16	25,57	17,53
Хвосты 1	9884,1	98,84	1,41	82,47
Руда	10 000,0	100,00	1,69	100,00
2-я стадия 80 % класса –0,3 мм				
Концентрат 2	113,8	1,15	17,60	14,48
Хвосты 2	9770,3	98,85	1,21	85,52
Питание (хвосты 1)	9884,1	100,00	1,40	100,00
3-я стадия 80 % класса –0,071 мм				
Концентрат 3	119,6	1,22	17,15	17,10
Хвосты 3	9650,8	98,78	1,03	82,90
Питание (хвосты 2)	9770,3	100,00	1,23	100,00
Суммарно				
Концентрат 1	115,90	1,16	25,57	17,48
Концентрат 2	113,78	1,14	17,60	11,81
Концентрат 3	119,56	1,20	17,15	12,09
Суммарно Концентраты	349,24	3,49	20,09	41,38
Хвосты	9650,76	96,51	1,03	58,62
Руда	10 000,00	100,00	1,696	100,00

**Рис. 8. Извлечение золота по стадиям обогащения (от операции)****Fig. 8. Recovery of gold by concentration stage**

Из данных табл. 2 видно, что суммарное извлечение золота составляет более 41 %. Эффективность каждой стадии обогащения (извлечение от операции) в GRG-тесте показана на рис. 8.

Наиболее высокие показатели извлечения золота получены на 1-й стадии при крупности 100 % класса –1,6 мм и 3-й стадии при крупности 80 % класса –0,071 мм. Это указывает на то, что в руде присутствуют и относи-

тельно крупные золотины, и мелкие свободные (от 0,06 до 0,20 мм), что подтверждается минералогическим анализом (рис. 9–11).

На рис. 12 приведено суммарное извлечение золота, извлекаемого гравитацией при различной крупности.

На рис. 12 видно, что самый высокий процент извлечения золота достигается при измельчении руды до крупности 80 % класса – 0,071 мм.

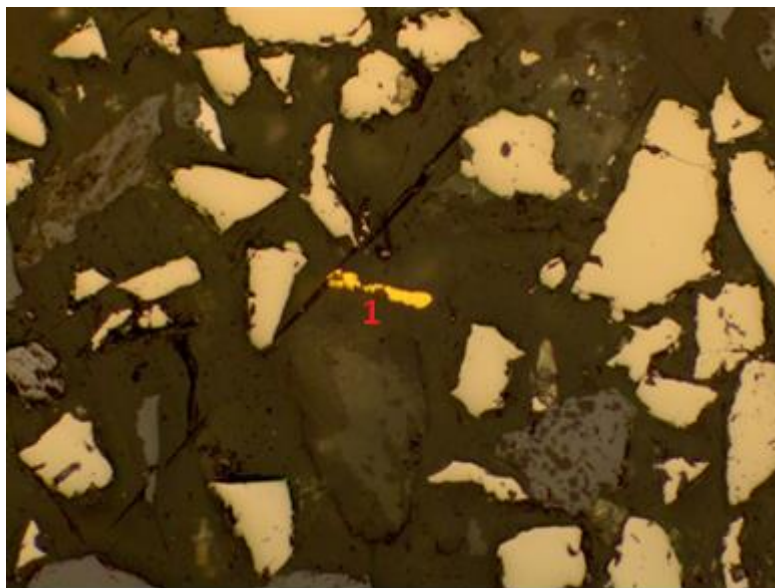


Рис. 9. Пластинчатое золото (1); тяжелая фракция гравиконоцентрата, $\times 200$

Fig. 9. Platy gold (1); heavy fraction of gravity concentrate, $\times 200$

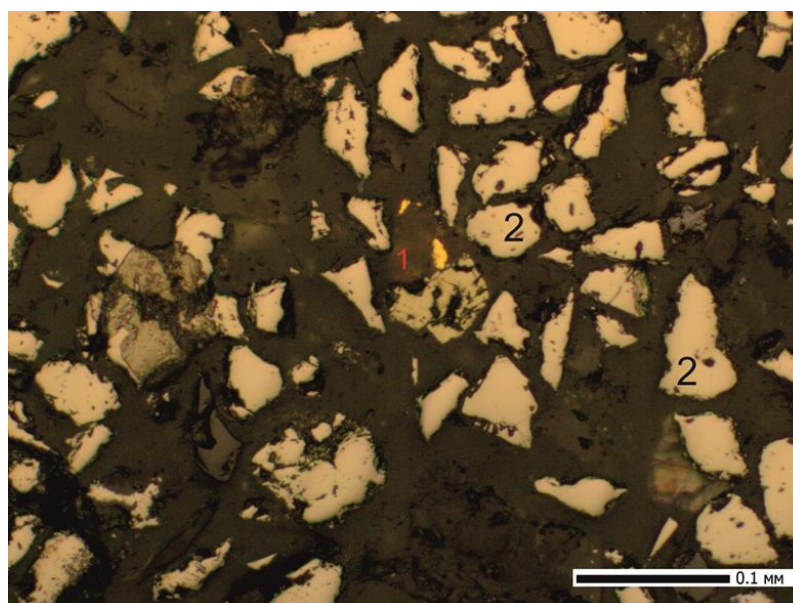


Рис. 10. Пластинчатое золото (1), не полностью вскрытое, в плоскости шлифа и пирит (2); тяжелая фракция гравиконоцентрата, $\times 200$

Fig. 10. Platy gold (1), not fully released, in the plane of polished section, and pyrite (2); heavy fraction of gravity concentrate, $\times 200$

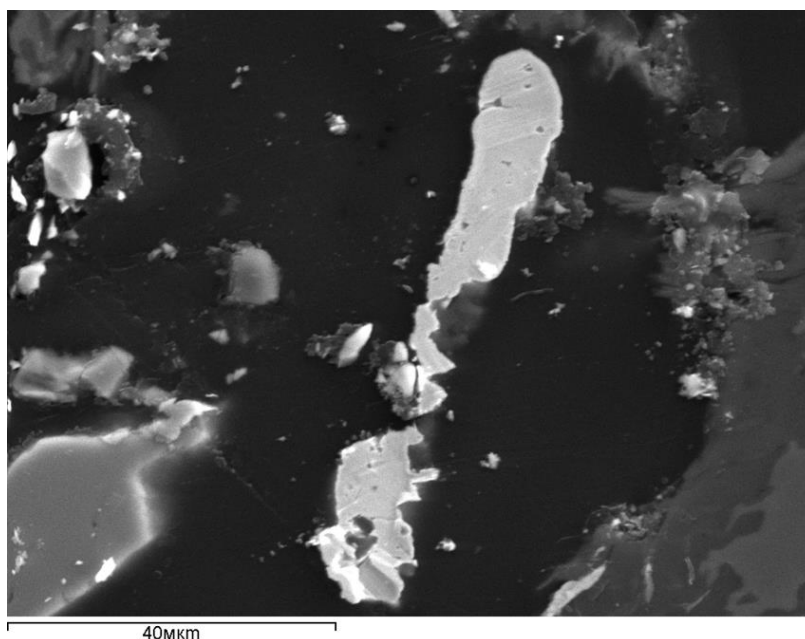


Рис. 11. Микрорентгеноспектральный анализ золота; состав (%): Au – 96,54; Ag – 2,78; Fe – 0,68

Fig. 11. Electron microprobe analysis for gold; composition (%): Au – 96.54; Ag – 2.78; Fe – 0.68

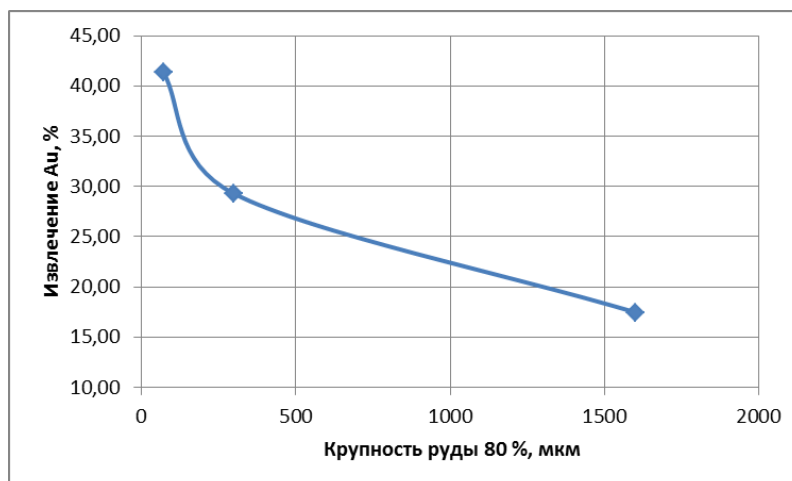


Рис. 12. Общий процент золота, извлекаемого гравитацией, в зависимости от крупности руды

Fig. 12. Total percentage of gold recovered by gravity depending on the ore grain size

Заклучение

Результаты GRG-теста показали, что золотосодержащая руда эффективно обогащается на центробежных концентраторах. Уровень извлечения золота гравитацией при ста-

диальном измельчении руды достаточно высок. При разработке технологической схемы обогащения руды необходимо предусмотреть гравитационное обогащение на центробежных концентраторах.

Библиографический список

1. Wills B. A., Finch J. A. Gravity Concentration. *Wills' Mineral Processing Technology*. Elsevier; 2016. P. 223–244. DOI: 10.1016/B978-0-08-097053-0.00010-8.
2. *Gravity Concentration. Chapter 4.GMP – Manual for Training Artisanal and Small-Scale Gold Miners*. P. 34–52. Available from: http://artisanalmining.org/Repository/01/The_CASM_Files/CASM_Projects/Topic_Mercury/Pg34-52Ch4GravityConcentration.pdf [Accessed 07.03.2020].
3. Верхотуров М. В. Гравитационные методы обогащения: учебник для вузов. М.: МАКС Пресс, 2006. С. 7–9.
4. Шохин В. И., Лопатин А. Г. *Гравитационные методы обогащения*. М.: Недра; 1993. С. 5–6.

5. Глембоцкая Т. В. *Возникновение и развитие гравитационных методов обогащения полезных ископаемых*. М.: Наука; 1991. С. 121.
6. Habashi F. Gold – An historical introduction. *Developments in Mineral Processing*. 2005;15:XXV–XLVII.
7. Surimbayev B. N., Baikonurova A. O., Bolotova L. S. Prospects for the development of the process of intensive cyanidation of gold-containing products in the Republic of Kazakhstan. *News Natl. Acad. Sci. Repub. Kazakhstan, Ser. Geol. Tech. Sci.* Almaty, Kazakhstan. 2017;4(424):133–141.
8. Мельников В., Роговой А., Ястребов К. Анализ опыта отечественных и зарубежных исследователей в направлении гравитационного и центробежного обогащения дисперсных полезных ископаемых. *Вестник ИрГТУ*. 2009;2(38):178–181.
9. Coulter T., Subasinghe G. K. N. A mechanistic approach to modelling Knelson concentrators. *Miner. Eng.* 2005;18(1):9–17. DOI: 10.1016/j.mineng.2004.06.035.
10. Sakuhuni G. et al. A novel laboratory procedure for predicting continuous centrifugal gravity concentration applications: The gravity release analysis. *Int. J. Miner. Process.* Elsevier B.V. 2016;(154):66–74. DOI: 10.1016/j.minpro.2016.07.004.
11. Knelson T. M. *Gravity Concentrator – for maximising gold recovery*. Available from: <https://www.fls-midth.com/en-gb/products/precious-metals-recovery/knelson-semi-continuous-gravity-concentrator>. [Accessed 07.03.2020].
12. Ghaffari A., Farzanegan A. An investigation on laboratory Knelson Concentrator separation performance: Part 1: Retained mass modelling. *Miner. Eng.* Elsevier Ltd. 2017;112:57–67. DOI: 10.1016/j.mineng.2017.07.006.
13. Surimbayev B., Bolotova L., Mishra B., Baikonurova A. Intensive cyanidation of gold from gravity concentrates in a drum-type apparatus. *News Natl. Acad. Sci. Repub. Kazakhstan, Ser. Geol. Tech. Sci.* 2018;5(431):32–37. DOI: 10.32014/2018.2518-170X.7.
14. Noaparast M., Laplante A. R. Free gold particles selection and breakage functions estimation. *Iran. J. Sci. Technol., Trans. B Eng.* 2004;28(6B):667–677.
15. Fullam M. et al. Advances in Gravity Gold Technology. *Gold Ore Processing*. Elsevier; 2016. P. 301–314. DOI: 10.1016/B978-0-444-63658-4.00019-0.
16. Laplante A., Gray S. Advances in gravity gold technology. *Developments in Mineral Processing*. Elsevier. 2005;15:280–307. DOI: 10.1016/S0167-4528(05)15013-3.
17. Koppalkar S. et al. Understanding the discrepancy between prediction and plant GRG recovery for improving the gold gravity performance. *Miner. Eng. Pergamon*. 2011;24(6):559–564. DOI: 10.1016/j.mineng.2010.09.007.
18. Laplante A. R. *A Standardized Test to Determine Gravity Recoverable Gold*. Available from: <http://knelsonrussian.xplorex.com/sites/knelsongravity/files/reports/report21s.pdf> [Accessed: 07.03.2020].
19. Laplante A. R., Dunne R. C. The Gravity recoverable gold test and flash flotation. In: *Proceeding 34th Annual Meeting of the Canadian Mineral Processors*. Ottawa, Canada; 2002. Available from: <http://seprosystems.com/language/wp-content/uploads/2016/09/laplante.pdf>. [Accessed: 10.03.2020].
20. Woodcock F.C., Frederick C. *Use of a Knelson unit to quantify gravity recoverable gold in an ore*. 1996. P. 1674–1674.
21. Clarke J. A simplified gravity-recoverable-gold test. *ProQuest*, 2007.
22. Laplante A. R. et al. Practical considerations in the operations of gold gravity circuits. In: *Proceedings 26th Annual Mineral Processors Conference*. Ottawa, Paper. 1994;23.
23. Суримбаев Б., Болотова Л., Есенгараев Е., Мазяркина Л. Исследование гравитационного обогащения золотосодержащих руд месторождения «Райгородок». *Промышленность Казахстана*. 2017;101(2):40–42.
24. Myrzaliev B., Nogaeva K., Molmakova M. Determination of Jamgyr Deposit Ore Gravity Concentration Feasibility. *Proc. Irkutsk State Tech. Univ.* 2018;22(10):153–165. DOI: 10.21285/1814-3520-2018-10-153-165.

References

1. Wills B. A., Finch J. A. Gravity Concentration. *Wills' Mineral Processing Technology*. Elsevier; 2016. P. 223–244. DOI: 10.1016/B978-0-08-097053-0.00010-8.
2. Gravity Concentration. Chapter 4.GMP – Manual for Training Artisanal and Small-Scale Gold Miners. P. 34–52. Available from: http://artisanalmining.org/Repository/01/The_CASM_Files/CASM_Projects/Topic_Mercury/Pg34-52Ch4GravityConcentration.pdf. [Accessed 07.03.2020].
3. Verkhoturov M.V. *Gravity concentration methods: Textbook for universities and colleges*. Moscow: MAKS Press Publ.; 2006. P. 7–9. (In Russ.).
4. Shokhin V.I., Lopatin A.G. *Gravity concentration methods*. Moscow: Nedra Publ.; 1993. P. 5–6. (In Russ.).
5. Glembotskaya T.V. *The emergence and development of gravitational methods of mineral processing*. Moscow: Nauka; 1991. P. 121. (In Russ.).
6. Habashi F. Gold – An historical introduction. *Developments in Mineral Processing*. 2005;15:XXV–XLVII. DOI: 10.1016/S0167-4528(05)15045-5.
7. Surimbayev B. N., Baikonurova A. O., Bolotova L. S. Prospects for the development of the process of intensive cyanidation of gold-containing products in the Republic of Kazakhstan. *News Natl. Acad. Sci. Repub. Kazakhstan, Ser. Geol. Tech. Sci.* Almaty, Kazakhstan. 2017;4(424):133–141.
8. Melnikov V., Rogovoy A., Yastrebov K. Analysis of the experience of domestic and foreign researchers in gravitational and centrifugal concentration of dispersed minerals. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta*. 2009;2(38):178–181. (In Russ.).
9. Coulter T., Subasinghe G. K. N. A mechanistic approach to modelling Knelson concentrators. *Miner. Eng.* 2005;18(1):9–17. DOI: 10.1016/j.mineng.2004.06.035.
10. Sakuhuni G. et al. A novel laboratory procedure for predicting continuous centrifugal gravity concentration applications: The gravity release analysis. *Int. J. Miner. Process.* Elsevier B.V. 2016;(154):66–74. DOI: 10.1016/j.minpro.2016.07.004.
11. Knelson T. M. *Gravity Concentrator – for maximising gold recovery*. Available from: <https://www.fls-midth.com/en-gb/products/precious-metals-recovery/knelson-semi-continuous-gravity-concentrator> [Accessed 07.03.2020].
12. Ghaffari A., Farzanegan A. An investigation on laboratory Knelson Concentrator separation performance: Part 1: Retained mass modelling. *Miner. Eng.* Elsevier Ltd. 2017;112:57–67. DOI: 10.1016/j.mineng.2017.07.006.
13. Surimbayev B., Bolotova L., Mishra B., Baikonurova A. Intensive cyanidation of gold from gravity concentrates in a drum-type apparatus. *News Natl. Acad. Sci. Repub. Kazakhstan, Ser. Geol. Tech. Sci.* 2018;5(431):32–37. DOI: 10.32014/2018.2518-170X.7.
14. Noaparast M., Laplante A. R. Free gold particles selection and breakage functions estimation. *Iran. J. Sci. Technol., Trans. B Eng.* 2004;28(6B):667–677.
15. Fullam M. et al. Advances in Gravity Gold Technology. *Gold Ore Processing*. Elsevier; 2016. P. 301–314. DOI: 10.1016/B978-0-444-63658-4.00019-0.
16. Laplante A., Gray S. Advances in gravity gold technology. *Developments in Mineral Processing*. Elsevier. 2005;15:280–307. DOI: 10.1016/S0167-4528(05)15013-3.
17. Koppalkar S. et al. Understanding the discrepancy between prediction and plant GRG recovery for improving the gold gravity performance. *Miner. Eng. Pergamon*. 2011;24(6):559–564. DOI: 10.1016/j.mineng.2010.09.007.
18. Laplante A. R. *A Standardized Test to Determine Gravity Recoverable Gold*. Available from: <http://knelsonrussian.xplorex.com/sites/knelsongravity/files/reports/report21s.pdf> [Accessed: 07.03.2020].
19. Laplante A. R., Dunne R. C. The Gravity recoverable gold test and flash flotation. In: *Proceeding 34th Annual Meeting of the Canadian Mineral Processors*. Ottawa, Canada; 2002. Available from: <http://seprosystems.com/language/wp-content/uploads/2016/09/laplante.pdf>. [Accessed: 10.03.2020].
20. Woodcock F.C., Frederick C. *Use of a Knelson unit to quantify gravity recoverable gold in an ore*. 1996. P. 1674–1674.
21. Clarke J. A simplified gravity-recoverable-gold test. *ProQuest*, 2007.
22. Laplante A. R. et al. Practical considerations in the operations of gold gravity circuits. In: *Proceedings 26th Annual Mineral Processors Conference*. Ottawa, Paper. 1994;23.

23. Surimbayev B., Bolotova L., Esengaraev E., Mazyarkina L. A study of gravity separation of gold ores of the Raigorodok deposit. *Industry of Kazakhstan*. 2017;101(2):40–42. (In Russ.).
24. Myrzaliev B., Nogaeva K., Molmakova M. Determination of Jamgyr Deposit Ore Gravity Concentration Feasibility. *Proc. Irkutsk State Tech. Univ.* 2018;22(10):153–165. DOI: 10.21285/1814-3520-2018-10-153-165.

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ / ORIGINAL PAPERS

DOI: 10.17073/2500-0632-2020-2-104-118

Развитие природоохранных и ресурсосберегающих технологий подземной добычи руд в энергонарушенных массивах

Ляшенко В. И.¹, Хоменко О. Е.², Голик В. И.³

¹Государственное предприятие Украинский научно-исследовательский и проектно-изыскательский институт промышленной технологии (ГП «УкрНИПИИпромтехнологии»), г. Желтые Воды, Украина;

²Национальный технический университет «Днепровская политехника», г. Днепр, Украина;

³Северо-Кавказский горно-металлургический институт (СКГТУ), г. Владикавказ, Россия

Аннотация: Одним из самых проблемных мест при подземной добыче руд в энергонарушенных массивах является погашение техногенных пустот, которые влияют на возникновение и перераспределение напряженно-деформационного состояния (НДС) массива горных пород. Их существование в земной коре провоцирует нарушение дневной поверхности, а также способствует возникновению геомеханических и сейсмических явлений. Цель исследования – обоснование природоохранных и ресурсосберегающих технологий погашения пустот при подземной добыче руд на основе установления закономерностей проявления горного давления массива горных пород, что позволит обеспечить сохранность дневной поверхности и жизнедеятельность населения, проживающего в зоне влияния горнодобывающего региона. Основными отрицательными последствиями воздействия горной технологии на окружающую природную среду и человека являются большие затраты на сохранность дневной поверхности и обеспечение жизнедеятельности населения, проживающего в зоне влияния горных объектов, вывод больших площадей земель из экономического оборота и др. На основе исследования механизма НДС массива пород с использованием геофизических и маркшейдерских методов предложена природоохранная технология погашения техногенных пустот в энергонарушенных массивах. Она позволяет обеспечить сохранность дневной поверхности и жизнедеятельность населения, проживающего в зоне влияния горных объектов (шахты, отвалы, промышленные площадки для складочных комплексов, предконцентрации и кучного выщелачивания металлов из некондиционного рудного сырья, хвостохранилищ и др.). Предложены комбинированные геотехнологии погашения пустот при разработке рудных месторождений подземным блочным выщелачиванием и осуществлено научно-методическое сопровождение и техническое обеспечение буровзрывной подготовки скальных руд и отработки ПБВ опытно-экспериментальных блоков на Мичуринском месторождении ГП «ВостГОК», Украина. Результаты исследований могут быть использованы при подземной разработке рудных месторождений сложной структуры.

Ключевые слова: энергонарушенный горный массив, подземная добыча руд, природоохранная и ресурсосберегающая технология, погашение техногенных пустот.

Благодарность: В создании, совершенствовании и внедрении научных разработок принимали участие и оказывали содействие специалисты следующих организаций:

– Государственное предприятие «Украинский научно-исследовательский и проектно-изыскательский институт промышленной технологии» (ГП «УкрНИПИИпромтехнологии»), г. Желтые Воды, Украина;

– Государственное предприятие «Восточный горно-обогатительный комбинат» (ГП «ВостГОК»), г. Желтые Воды, Украина;

– Национальный технический университет «Днепровская политехника», г. Днепр, Украина;

– Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), г. Днепр, Украина;

– Государственное высшее учебное заведение «Криворожский национальный университет», г. Кривой Рог, Украина;

– Акционерное общество «ВНИПИпромтехнологии», г. Санкт-Петербург, Россия;

– Акционерное общество «ВНИМИ», г. Санкт-Петербург, Россия;

– «Целинный горно-химический комбинат», г. Степногорск, Республика Казахстан.

Для цитирования: Ляшенко В. И., Хоменко О. Е., Голик В. И. Развитие природоохранных и ресурсосберегающих технологий подземной добычи руд в энергонарушенных массивах. *Горные науки и технологии*. 2020;5(2):104-118. DOI: 10.17073/2500-0632-2020-2-104-118.





Development of Environment-Friendly and Resource-Saving Methods of Underground Ore Mining in Disturbed Rock Masses

V. I. Lyashenko¹, O. E. Khomenko², V. I. Golik³

¹State Enterprise Ukrainian Scientific Research and Design Institute of Industrial Technologies (SE "UkrNIPIpromtekhologii"), Zheltye Vody, Ukraine;

²National Technical University "Dneprovskaya Polytechnica", Dnipro, Ukraine;

³North Caucasian Mining and Metallurgical Institute (SKGTU), Vladikavkaz, Russia

Abstract: One of the most problematic aspects in underground ore extraction in mining-disturbed rock masses is backfilling of man-made voids, which affect origination and redistribution of stress-strain state of the rock mass. Their existence in the earth's crust provokes subsidence/collapse of the day surface and also contributes to arising geomechanical and seismic phenomena. The purpose of the study is to substantiate environmental-friendly and resource-saving methods for backfilling of voids in underground ore mining based on revealing the features of rock integrity of the day surface and life-sustaining activity of the population living in the mining-affected area. The main negative consequences of the impact of mining on the environment and humans are high costs for conserving day surface and ensuring life-sustaining activity of the population living in the mining-affected area, as well as removing large areas of land from human activity, etc. Based on the study of a rock mass stress-strain state using geophysical and surveying methods, an environment-friendly method for backfilling of man-made voids in disturbed rock masses is proposed. It enables ensuring the integrity of the day surface and life-sustaining activity of the population living in the mining-affected area (in the vicinity of mines, dumps, sites of backfilling complexes, preconcentration and heap leaching of metals from substandard ores, tailings storage facilities, etc.). Combined geotechnologies are proposed for backfilling of voids during the development of ore deposits by underground block leaching, and scientific and methodological and technical support was provided for drilling and blasting preparation of hard ores and underground leaching of pilot blocks at the Michurinsky deposit of GP VostGOK, Ukraine. The research findings can be used in underground mining of ore deposits of complicated structure.

Keywords: disturbed rock mass, underground ore mining, environmental and resource-saving method, backfilling of man-made voids.

Acknowledgements: Specialists of the following organizations contributed to the creation, improvement and implementation of these research and development:

- State Enterprise "Ukrainian Research and Design Institute of Industrial Technology" (SE "UkrNIPIpromtekhologii"), the city of Zheltye Vody, Ukraine;
- State Enterprise "Vostochny Mining and Processing Complex" (SE "VostGOK"), the city of Zheltye Vody, Ukraine;
- National Technical University "Dneprovskaya Polytechnica", Dnipro city, Ukraine
- Institute of Geotechnical Mechanics named after N.S. Polyakov of the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NAS of Ukraine), Dnipro city, Ukraine;
- State Higher Educational Institution "Kryvyi Rih National University", Kryvyi Rih, Ukraine;
- Joint-Stock Company VNIPIpromtekhologii, St. Petersburg, Russia;
- Joint-stock company "VNIMI", St. Petersburg, Russia;
- Tselinny Mining and Chemical Complex, Stepnogorsk, the Republic of Kazakhstan.

For citation: Lyashenko V. I., Khomenko O. E., Golik V. I. Development of environment-friendly and resource-saving methods of underground ore mining in disturbed rock masses. *Gornye nauki i tekhnologii = Mining Science and Technology (Russia)*. 2020;5(2):104-118. (In Russ.). DOI: 10.17073/2500-0632-2020-2-104-118.

Введение

Основными показателями эффективной подземной добычи руд при освоении месторождений сложной структуры являются свойства горного массива и техногенные условия разработки [1, 2]. Ключевым фактором для обеспечения сохранности поверхности при отработке рудных месторождений является фактор заполнения пустот [3, 4]. особенно остро проблема стоит в условиях сложных месторождений, в неоднородных горных массивах с высокой крепостью пород и сложной структурой [5, 6].

Поэтому обоснование природоохранных и ресурсосберегающих технологий погашения пустот при подземной добыче руд на основе установления закономерностей проявления горного давления массива горных пород для обеспечения жизнедеятельности населения, проживающего в зонах влияния горнодобывающих регионов, является актуальной научной, практической и социальной проблемой, требующей поиска эффективных решений [7]. Данная работа является продолжением исследований с участием авторов, основные научные и практические результаты которых наиболее полно приведены в работах [8, 9].

Цель и задачи

Цель исследования – обоснование природоохранных и ресурсосберегающих технологий погашения пустот при подземной добыче руд на основе установления закономерностей проявления горного давления в массиве горных пород, что позволит обеспечить сохранность дневной поверхности и жизнедеятельность населения, проживающего в зоне влияния горнодобывающего региона.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи.

1. Проанализировать факторы проявления горного давления в скальных породах массивов сложного строения с высокой интенсивностью разрывных структур.

2. Выявить условия формирования остаточной несущей способности в нарушенных породах в условиях объемного сжатия.

3. Определить условия взрыва на «зажатую» среду, снижения коэффициента разрыхления по мере отбойки слоя горной массы в закрытом объеме и увеличения сейсмического эффекта взрывных колебаний.

4. Установить параметры сейсмических колебаний, качество дробления рудного массива и показатель уплотнения зажимающего материала.

5. Разработать природоохранные и ресурсосберегающие технологии погашения пустот при подземной добыче руд в скальных месторождениях в энергонарушенных массивах сложной структуры.

Основные положения

Исследование существующих решений проблемы. Анализ техногенных пустот показывает, что с увеличением глубины разработки рудных месторождений и продолжительности существования камер количество самообрушений пород в них возрастает. Результаты анализа позволяют сделать вывод о том, что важным является образование техногенных пустот, которые влияют на возникновение и перераспределение НДС массива горных пород. Их существование в земной коре провоцирует нарушение дневной поверхности, а также влияние геомеханических и сейсмических явлений [10, 11].

Методы исследований. В ходе исследования использованы методы комплексного анализа и синтеза, практического опыта и научных достижений в областях:

- геотехнологии;
- технологии и технических средств погашения пустот при подземной добыче руд в энергонарушенных массивах;
- теории и практики взрывного разрушения твердых сред.

Методами моделирования на основе эквивалентных и оптически активных материалов исследовались:

- влияние нарушенности массива на устойчивость выработок, изменение факторов проявления горного давления с увеличением глубины горных работ;

– зависимости деформировано-напряженного состояния нарушенных пород от габаритных размеров выработок.

Также были использованы методы механики сплошных сред, математической статистики и методы исследования волновых процессов [12, 13].

Исследование механизма развития напряжений и деформаций в зоне влияния подземных пустот. В практике использования технологии и технических средств погашения пустот при подземной добыче руд в энергонарушенных массивах наиболее распространены следующие способы (рис. 1).

Погашение изоляцией пустот перемычками без заполнения материалом применяется при отработке рудных тел малой и средней мощности, фланговых и слепых рудных тел, не оказывающих влияния на подземные объекты и земную поверхность [14, 15].

Погашение обрушением вмещающих пород является наиболее распространенным способом, что объясняется простотой организации работ, высокой степенью механизации и малой затратностью. К его недостаткам относятся трудности контроля полноты заполнения пустот и управления процессом обрушения при уменьшении мощностей рудных тел на глубинах более 500–600 м.

При отработке месторождений на больших глубинах возникает необходимость перехода на другие технологии погашения пустот. Способ погашения обрушением вмещающих пород характеризуется значительными потерями и разубоживанием и разрушением массива до поверхности [16–18].

Погашение твердеющей закладочной смесью обеспечивает лучшие показатели эксплуатации недр. Основной объем пустот закладывают смесями при одновременной отработке открытым и подземным способами мощных крутопадающих рудных тел месторождений, локализованных в интенсивно нарушенных породах средней устойчивости. Достоинства способа составляют минимальные затраты, сравнительно небольшие потери

и разубоживание, доступность для контроля, сохранность вмещающего массива и земной поверхности. К особенностям технологии относятся повышенное требование к полноте представлений о массиве, более детальная его изученность и постоянный геомеханический и сейсмический мониторинг [19, 20]. В последнее время закладка приготавливается с заменой цемента измельченными вяжущими в смеси с песчано-гравийными материалами. Прочность закладки изменяется в широких пределах в зависимости от назначения искусственных массивов. На ряде месторождений твердеющую закладочную смесь применяют из-за необходимости сохранения дневной поверхности по экологическим условиям и повышения безопасности жизнедеятельности в горнодобывающих регионах [21, 22].

Комбинированное погашение пустот при разработке рудных месторождений подземным блочным выщелачиванием (ПБВ) находит применение в развитых горнодобывающих странах мира (рис. 2).

При двухстадийной отработке руды опорное давление перераспределяется на камеры второй очереди, а нагрузка на конструкции определяется массой пород внутри возникшего свода естественного равновесия пород. Нарушенные породы в пределах свода деформируются, но могут образовать прочную конструкцию и не препятствовать процессу выщелачивания [23, 24]. Перспективны геотехнологии, при которых на дневную поверхность выдаются богатые руды, а оставшая руда перерабатывается на месте залегания (табл. 1).

Разработка рудных месторождений ПБВ предполагает создание в энергонарушенных массивах участков с породами разной прочности:

- блоки заполнены рудным материалом, который подвижен и склонен к слеживанию;
- блоки характеризуются водонасыщенностью и ослаблением прочности пород;
- в процессе выщелачивания минеральные частицы перемещаются.

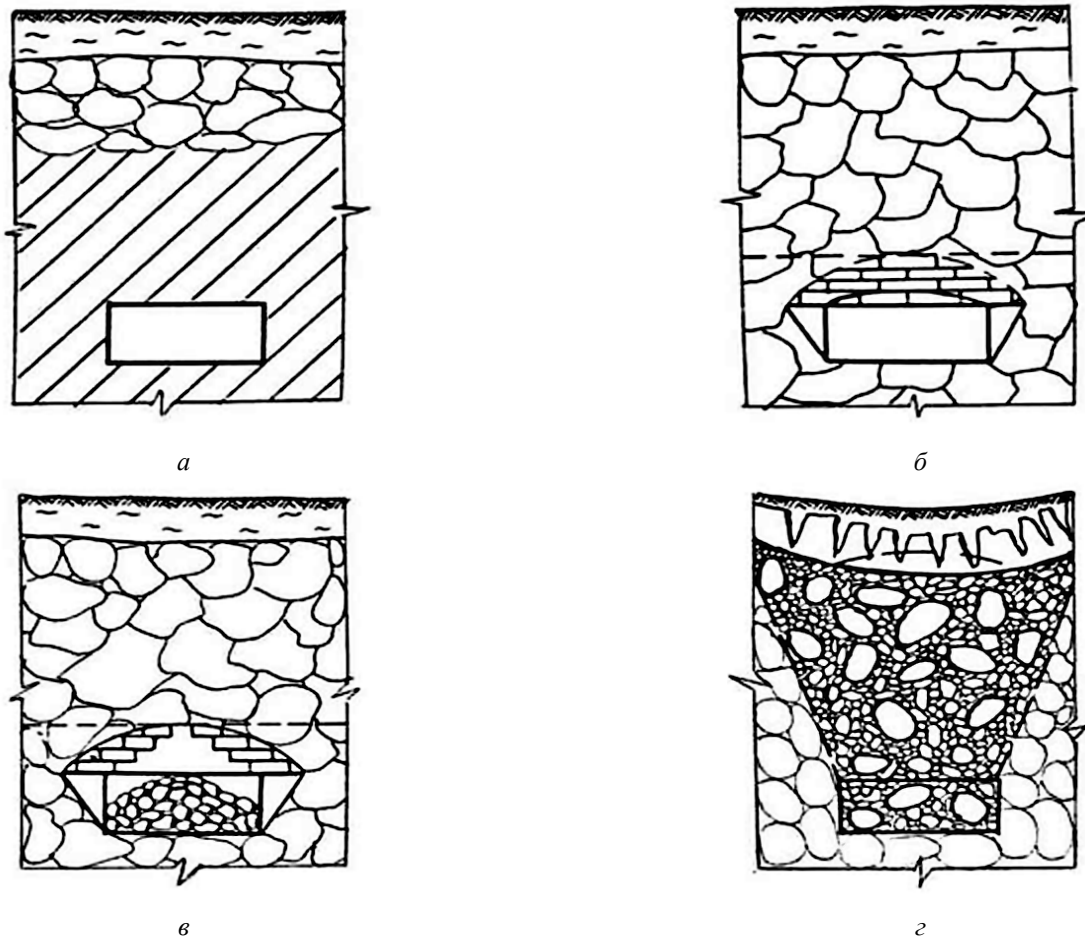


Рис. 1. Влияние пустот на земную поверхность (схемы):

a – перекрытие из прочных пород; *b* – плоская кровля при самоупрочнении пород; *v* – обрушение пород, не достигающее земной поверхности; *z* – обрушение пород с вовлечением в процесс земной поверхности

Fig. 1. The impact of voids on the earth's surface (schematics):

a – overlaying hard rock; *b* – flat roof at rock self-strengthening; *c* – rock collapse, not reaching the earth's surface; *g* – rock collapse involving the earth's surface

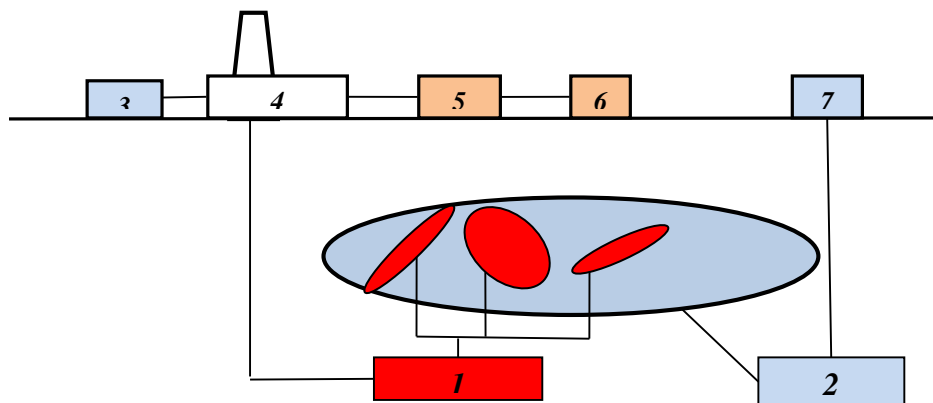


Рис. 2. Комбинированная разработка рудного месторождения:

1, 2 – богатые и бедные по содержанию полезного компонента руды соответственно (неоднородности); *3* – комплекс кучного выщелачивания бедных и забалансовых руд; *4, 5* – рудоконтрольная и обогатительная станция (РКС) и фабрика (РОФ) соответственно; *6* – складочный комплекс; *7* – цех приготовления выщелачивающих растворов

Fig. 2. Combined development of an ore deposit:

1, 2 – rich and poor ores, respectively; *3* – complex for heap leaching of poor and off-balance ores (heterogeneities); *4, 5* – ore control and concentration plant (CCP) and processing plant (PP), respectively; *6* – stowing complex; *7* – shop for preparation of leaching solutions

Таблица 1

Типизация процессов подземного блокового выщелачивания руд
Typification of underground block leaching processes

Процесс	Параметры процесса	Условия реализации процесса
Дробление руды	Обеспечение крупности +20 мм, –50 мм	Равномерная плотность руды. Возможность создания компенсационного пространства для взрыва
Орошение руды	Скважины в нетронутым массиве. Разбрызгивание с поверхности руды. Скважины в разрушенной руде с обсадкой. Использование мелкозернистых материалов. Гидравлический разрыв пород	Отсутствие непроницаемых зон и каналов в отбитой руде
Сбор продукционных растворов	Противофильтрационные завесы. Гидроизоляция участков выщелачивания. Электровакуумный дренаж растворов. Использование синтетических полимерных материалов	Исключение попадания продуктов выщелачивания в окружающую среду
Интенсификация процесса	Физические методы: нагнетание сжатого воздуха, взрывание руд, уменьшение крупности пропорционально градиенту концентрации, отбойка слоями с переменной линией наименьшего сопротивления зарядов, управление эллипсоидом выпуска, анализ ультразвуковых колебаний, электромагнитная обработка растворов. Химические методы: промывка водой с активизирующими добавками, введение химических составов. Биологические методы: использование штаммов бактерий	Получение заданного разрыхления. Увеличение содержания полезного компонента в растворе до приемлемого значения
Контроль полноты выщелачивания	Скважинные методы: бурение по породе для введения контролирующих устройств, бурение по отбитой руде с отбором проб. Проходка выработок с отбором проб	Представительность проб и измерений для всего блока

Создание таких участков провоцирует рост растягивающих напряжений и нагрузки на элементы природно-техногенной системы [25, 26]. Сбалансированное состояние рудовмещающего массива обеспечивается, если блоки ПБВ разгружены от критических напряжений искусственными и естественными массивами.

Практика подготовки запасов рудного месторождения к подземному блочному выщелачиванию

Оценка сейсмического действия взрыва на подземные и поверхностные объекты. В последнее время усложнились условия производства горных работ из-за увеличения глубины отработки, выемки рудных тел под застроенной местностью, наличия охранных целиков в непосредственной близости от земной поверхности.

Непременным требованием к ведению горных работ в этих условиях является полная сохранность объектов и земной поверхности, с одной стороны, и обеспечение необходимой производительности – с другой. Безопасность отработки месторождения в значительной степени зависит от характера и интенсивности волновых явлений при взрывах, состояния массива, передающего взрывные сотрясения, поведения различных объектов при взаимодействии с волновыми формированиями при взрывах.

Основным условием сохранения устойчивости горного массива при периодических динамических напряжениях является сохранение объемов среды, т.е. величины напряжений, возникающих при взрывах, не должны вызывать

остаточных деформаций в массиве горных пород. Тогда, исходя из условий сохранности горного массива, величины относительных деформаций при взрыве E_v не должны превышать допустимых E_d , т.е.

$$E_d > E_v. \quad (1)$$

Относительные деформации при взрывах с учетом двукратного запаса прочности массива горных пород определяются из выражения

$$E_v = \frac{U_v}{2C_p}, \quad (2)$$

где U_v – скорость смещения при взрывах, см/с; C_p – скорость распространения продольных волн в массиве горных пород, см/с.

Следовательно, для того чтобы обеспечить устойчивость и сохранность массива и окружающей среды, скорость смещения при взрывах не должна превышать допустимую U_d , т.е. следует соблюдать условие

$$U_d > U_v. \quad (3)$$

Допустимые скорости колебаний грунта в основании сооружений разных классов в различных породах приведены в табл. 2.

Таблица 2

Допустимые скорости колебаний для сооружений

Permissible vibration velocities for structures

Характеристика горных пород	Крепость пород по Протодьяконову, f	Скорость прохождения продольной волны, км/с	Допустимая скорость колебаний, см/с, для сооружений класса			
			I	II	III	IV
Рыхлообломочные отложения, наносы	0,5–1,0	1–2	4,1	8,2	12,2	20,4
Сильно трещиноватые породы с глиной и высокой пористостью	1–3	2–3	6,8	13,6	20,3	34,0
Скальные породы со значительной естественной трещиноватостью	3–5	3–4	9,5	19,0	28,4	47,5
Относительно монолитные породы с отдельными трещинами и пустотами	5–9	4–5	12,2	24,4	36,7	60,0
Монолитные породы, слаботрещиноватые	9–14	5–6	14,9	29,8	44,6	74,5
Очень крепкие породы, монолитные, практически без трещин	14–20	6–7	17,8	35,6	53,3	89,0

Из данных табл. 2 следует, что при соблюдении указанных параметров сохранность поверхности обеспечивается при производстве подземных взрывов, а здания и сооружения, построенные на ней, не будут претерпевать нарушений, так как допустимая скорость смещения (1–3 см/с) для жилых зданий значительно ниже допустимых скоростей для различных горных пород.

Оценка влияния горно-геологических условий на сейсмический эффект взрыва. Анализ полученных ранее инженерно-геологических данных показал, что в геологическом строении участка принимают участие (сверху вниз) почвенно-растительный слой (Q_4), лесовидные суглинки ($I_3 Q_{2-3}$), супеси и суглинки (N_2-Q_1), мелкие среднезернистые

пески бучакского яруса (f_2 в). Общая мощность осадочных пород составляет 12–14 м. Осадочные отложения повсеместно залегают по элювию коры выветривания (P_z-M_z) кристаллических пород протерозоя (RR_1). Кора выветривания представлена глинисто-обломочным материалом – первичным каолином, дресвяно- и песчано-глинистым, в зависимости от состава кристаллических пород.

По данным наблюдательных скважин, пробуренных по простиранию залежи, нижняя граница коры выветривания между осями 61–69 находится на глубине 20–24 м от земной поверхности. Кристаллические породы фундамента до 60 м на исследуемом участке представлены альбититами массивной текстуры, средней прочно-

сти, интенсивно катаклазированными и трещиноватыми. Эксплуатационные блоки расположены практически в центре депрессионной воронки, простирающейся в меридианальном направлении вдоль всего месторождения. В результате ведения горных работ уровень подземных вод здесь понижается на 20–30 м ниже гор. 210 м. Горные породы практически не обводнены. Кристаллические породы эксплуатационных блоков 5–84–86 и 5–88–90 представлены мигматитами биотитовыми серого цвета, среднезернистыми с порфириновидными выделениями кристаллов полевых шпатов. Встречаются останцы окварцованных биотитовых гнейсов. Порода слаботрещиноватая, плотная, крепкая. Редкие трещины послонные с карбонатом крепостью $f = 14–15$.

По горно-геологическим условиям блоки находятся между двумя тектоническими разломами. Один разлом – с южной стороны блоков на расстоянии 25–30 м, с северной стороны блоков на расстоянии 40 м – второй разлом. Ширина тектонических разломов колеблется от 5 до 10 м. Указанные тектонические разломы могут служить как зоной поглощения сейсмических колебаний при прохождении волн вкрест простирания разломов, так и волноводами при падении сейсмических волн вдоль нарушений.

По горнотехническим условиям как в сторону охраняемых объектов (дома поселка Кизельгур, Украина), так и в сторону р. Ингул выше блоков 5–84–86 и 5–88–90 находятся отработанные и заложенные блоки, которые при ведении взрывных работ в опытном блоке будут служить зоной поглощения и отражения сейсмических волн. В каждой геологической структуре имеются общие и локальные факторы, влияющие на распространение сейсмических волн. К общим геологическим факторам, которые могут влиять на интенсивность сейсмических волн, относятся рыхлые отложения, тектонические разломы (последние можно рассматривать как возможные волно-

воды), угол падения пород. Скорость распространения сейсмических волн определяется степенью трещиноватости массива.

При переходе сейсмической волны в зоны нарушений ее интенсивность может возрастать или уменьшаться. Рыхлые наносные породы являются своеобразным фильтром колебаний в сейсмической волне, когда последняя преломляется в них. Интенсивность колебаний полностью зависит от мощности наносов: чем выше мощность наносов, тем ниже сейсмический эффект. В горном массиве, не затронутом горными работами и не имеющем разломов, сейсмический эффект усиливается. Сейсмический эффект уменьшается в 1,5–2,0 раза при прохождении сейсмических волн через преграду в виде отработанного пространства камер, отработанных и заложенных блоков. Основное влияние на изменение интенсивности сейсмических колебаний оказывают технологические факторы разработки месторождения:

- в тыльной стороне взрыва скорость возмущения массива в 1,5 раза выше, чем во фланговой стороне, и в 2 раза выше, чем в сторону фронта;

- проведение взрывных работ в блоке на нижележащем горизонте после отработки вышележащих блоков и их погашения ведет к уменьшению в 2 раза скорости смещения в сейсмической волне, а при взрыве рядов скважин при формировании отрезной щели – в 1,5 раза;

- прохождение взрывной волны через выработанное пространство уменьшает скорость колебания в 2 раза.

В нашем случае при подготовке эксплуатационных блоков 5–84–86 и 5–88–90 к подземному выщелачиванию взрывные волны будут проходить через разломы и выработанное пространство, что понижает сейсмические колебания в 2 раза и снижает сейсмический эффект в 1,5–2,0 раза, через наносы, что также понижает сейсмические колебания до 2 раз. Оценивая условия отработки эксплуатацион-

ных блоков 5–84–86 и 5–88–90, следует отметить, что физико-механические и гидрогеологические свойства горного массива, наличие отработанных и заложённых блоков, разломов и наносов способствуют сохранности поверхности и жилых домов поселка Кизельгур, благоприятны для производства взрывных работ в блоке.

Расчет допустимой массы зарядов ВВ на одно замедление. Концентрация энергии взрывной волны ВВ в массиве взрываемого слоя при веерном расположении скважинных зарядов распределена неравномерно, причем минимальная нагрузка приходится на концы скважин, а в центральной его части (ближе к устьям скважин) максимальная, что влияет на качество дробления. Поэтому волновые разрушительные процессы, возникающие в результате взрывания ВВ имеют сложную картину, особенно в ближней зоне, не превышающей пяти радиусов взрываемого слоя от его центра.

За пределами этой зоны возможно получить зависимости изменения скоростей смещения, характеризующие разрушительное действие веерного заряда взрываемого слоя руды на одно замедление от его пространственного положения по отношению к защищаемому объекту и расстояния до него. Так как веерный заряд взрываемого слоя является площадным с неравномерным распределением концентрации энергии, пространственное его положение по отношению к защищаемому объекту имеет важное значение наряду с расстоянием до охраняемого объекта.

Устойчивость защищаемых подземных и поверхностных объектов возможна при правильном определении и соблюдении нормативных ограничений, т.е. установлении допустимых скоростей смещения для каждого защищаемого объекта. Охраняемый объект защищен от разрушительных сейсмических воздействий колебаний горного массива и грунтов дневной поверхности при условии, что фактическая скорость смещения колебаний подземных взрывов меньше допустимой, т.е. соблюдается условие

$$U_{\phi} \leq U_{\text{доп}} \quad (4)$$

Так как уровень скорости смещения на защищаемом объекте (в среде горного массива в подземных условиях или на грунте дневной поверхности) определяется расстоянием между центром заряда и защищаемым объектом, массой взрываемого ВВ на одно замедление и средой, через которую проходят сейсмические колебания от подземных промышленных взрывов, то для обоснования безопасных зарядов в условиях Мичуринского месторождения ГП «ВостГОК» (Украина) были проведены опытно-промышленные исследования для установления этих зависимостей. Обеспечение устойчивости защищаемых объектов, расположенных в горных массивах (различные горные выработки и подземные камеры, стволы) и на грунтах дневной поверхности, достигается при использовании для расчетов скоростей смещения массивов усовершенствованной авторами известной формулы М.А. Садовского [21]:

$$U = K \frac{\sqrt[3]{Q^{2,08}}}{R^{2,08}}, \text{ см/с}, \quad (5)$$

где U – скорость смещения, см/с; K – коэффициент пропорциональности, характеризующий свойства среды, проводящей сейсмические колебания и равный при параллельном расположении веерных скважинных зарядов к охраняемому объекту 575, а при торцовом – 145; Q – масса заряда на одно замедление, кг; R – расстояние от центра взрываемого веерными скважинными зарядами слоя на одно замедление до защищаемого объекта, м.

Таким образом, в зависимости от положения взрываемого слоя относительно объекта зависимость имеет вид:

– при параллельном $U = 575 \frac{\sqrt[3]{Q^{2,08}}}{R^{2,08}},$
см/с;

– при торцовом $U = 145 \frac{\sqrt[3]{Q^{2,08}}}{R^{2,08}},$ см/с.

Из этих зависимостей видно, что при торцовом расположении энергия снижается в

4 раза, что используют при расчетах допустимых зарядов на одно замедление. Расчет допустимых зарядов ВВ на одно замедление при взрывании балансовых запасов эксплуатационных блоков Мичуринского месторождения рекомендуется определять в зависимости от пространственного положения взрываемого рудного слоя к защищаемому объекту по формулам:

– при параллельном расположении

$$Q = R^3 \frac{\sqrt[3]{U^3}}{K_1^3}, \text{ кг, где } K_1=545;$$

– при торцовом $Q = R^3 \frac{\sqrt[3]{U^3}}{K_2^3}, \text{ кг, где}$
 $K_2 = 145.$

Максимальное допустимое количество ВВ на одно замедление для взрывания запасов эксплуатационных блоков 5–84–86 и 5–88–90 приведены в табл. 3.

Таблица 3

Максимальное количество взрывчатых веществ в одном замедлении по блокам

The maximum amount of explosives per blast by block

Номер взрыва, блока	Горизонт, м	Номер веера	Серия замедления, мс	Максимальное количество ВВ на одно замедление, кг
1 взрыв	240-260	3	75	1771
2 взрыв	225-240	1	25	2249
3 взрыв	210-225	5+5a	150	2832
4 взрыв	210-263	1+1+1	50	5594
Блок 5-84-86	225-210	8-8A	150	2777
Блок 5-88-90	263-240	2	50	1969

Количества ВВ на одно замедление при встречном взрывании веерными скважинными зарядами при расчетах скоростей смещения горных массивов (подземные объекты) и скоростей смещения грунтов у основания поверхностных объектов не суммируются, так как направление фронтов сейсмических колебаний после одновременного взрыва нескольких слоев горного массива взаимно противоположно. Максимальное количество ВВ в одном замедлении в блоке 5–84–86 ниже расчетного допустимого значения ВВ для всех защищаемых объектов в дальней зоне, кроме ближних подземных объектов: Вс 59^x, штрека разведочного в осях 59–71 (выработки, камеры, подстанции), расположенных на расстояниях от места взрыва от 22 до 35 м, при необходимости потребуется восстанавливать. В блоке 5–88–90 выше расчетного допустимого для следующих объектов: русло р. Ингул, жилые дома, штрек восточный полевой гор. 210 м, подземная электроподстанция гор. 210 м, Вс 71^x (92^x) гор. 280 м.

Отбойка запасов эксплуатационного блока 5–84–86 по обоснованным параметрам буровзрывных работ обеспечивает улучшение качества дробления. Эффект зажатой среды с оптимальными коэффициентами разрыхления рудной массы в среднем по блоку составляет 1,30, а для блока 5–88–90 – 1,25. Повышенный (ожидаемый) зажим в нижней части указанного блока между горизонтами 260 и 240 м после отбойки всех запасов камеры благоприятно скажется на процессе выщелачивания руд и получения продуктивного раствора.

Таким образом, комбинированное управление геомеханическим состоянием энергонарушенных массивов применяют при добыче разнородных руд, например после выемки богатых руд, а бедные руды дорабатывают в блоках ПБВ [28, 29]. Геомеханическая сбалансированность массива обеспечивается разделением его на предельные по условию образования свода естественного равновесия и сохранения устойчивой плоской кровли.

Внутри обособленных участков могут применяться различные технологии подземной добычи руд. Защита сопряженных участков месторождения от сейсмического воздействия взрыва ВВ производится, например, экранированием. Уровень напряжений в геомеханической системе регулируется инженерными мероприятиями [26, 27]:

- наклон искусственного массива на рудный массив снижает разубоживание руды закладкой;

- предохранительный закладочный массив на границе рудной залежи представляет собой защитную стенку, что позволяет извлекать основные запасы в благоприятных горно-технических условиях;

- упрочнение неустойчивых пород анкерами и стальными канатами обеспечивает лучшие показатели извлечения руд.

Таким образом, управление массивами осуществляется комбинированным погашением: твердеющими закладочными смесями и изоляцией, а также технико-технологическим обеспечением процессов погашения с использованием природо- и ресурсосберегающих технологий [28, 29].

Анализ результатов исследований и общие рекомендации

На основе исследования механизма возникновения и перераспределения НДС массива пород с использованием геофизических и маркшейдерских методов предложена природоохранная технология погашения пустот в энергонарушенных массивах [30, 31]. Эта технология позволяет обеспечить сохранность дневной поверхности и жизнедеятельность населения, проживающего в зоне влияния горных объектов (шахты, отвалы пустых пород и забалансовых по содержанию полезного компонента руд, промышленные площадки для закладочных комплексов, предконцентрации и кучного выщелачивания металлов из некондиционного рудного сырья, хвостохранилищ и др.). Основными отрицательными последствиями воздействия горной технологии на

окружающую природную среду и человека являются большие затраты на сохранность дневной поверхности и обеспечение жизнедеятельности населения, проживающего в зоне влияния горных объектов, вывод больших площадей земель из пользования и др. Поэтому необходимо предусматривать средства на проведение следующих мероприятий [32, 33]:

- глубинная переработка техногенных отходов (хвостов обогащения), обладающих большим разнообразием минеральных форм по сравнению с рядовыми рудами;

- рекультивация территории промышленных площадок и близлежащей к ним территории после окончания эксплуатации;

- озеленение рекультивированной территории травяной и кустарниковой растительностью;

- постоянный мониторинг компонентов окружающей среды в зоне влияния горных объектов.

Для переработки техногенных отходов (хвостов обогащения) необходимо создание новых технологий, которые должны базироваться на последних достижениях горной науки. Необходимо выполнять исследования, которые направлены на утилизацию накопленных отходов горно-металлургического производства (ГМП). Внедрение эффективных методов извлечения металлов из отходов позволит улучшить экологическую обстановку в местах их складирования и обеспечит дополнительную добычу геоматериалов для горнодобывающей промышленности. Масштабное вовлечение в производство хвостов обогащения, а также переработка отвалов забалансовых руд на модульных установках способствуют получению дополнительного источника геоматериалов и снижения загрязнения окружающей среды в странах с развитыми горнодобывающими центрами [32, 33].

Также необходимо создавать защитные лесополосы вдоль транспортных путей (автомобильных, железнодорожных, пульпопроводов и др.). Территории, где предельно допустимая концентрация (ПДК)

загрязнений превышена, необходимо перевести под посев технических культур, в водоемах – запретить вылов рыбы, купание и т.д. [34, 35]. С целью предотвращения пылевого переноса загрязненного материала за пределы горных объектов санитарно-защитные зоны и полосы вокруг них целесообразно засаживать высокорослыми древесными породами, которые будут сдерживать скорость ветра над указанными объектами. К таким объектам относятся шахты, отвалы пустых пород и забалансовых по содержанию полезного компонента руд, закладочные комплексы, площадки предконцентрации и кучного выщелачивания металлов из некондиционного рудного сырья, хвостохранилища и др. При этом пыль будет оседать в этих лесных насаждениях и не будет поступать на другие территории, в том числе и в населенные пункты [36, 37].

Выводы

1. *Отмечено*, что отбойка камерных запасов с заданным качеством дробления с целью эффективного блочного выщелачивания полезного компонента требует повышения зажима рудной массы, где коэффициент разрыхления должен быть в пределах 1,17–1,20. С целью получения заданного качества дробления отрезную щель необходимо располагать в центре блока для использования встречного взрывания при отбойке первых от отрезной щели слоев веерными скважинными зарядами.

2. *Показано*, что для повышения качества дробления за счет увеличения удельного расхода ВВ на отбойку рудного массива

до 2,9–3,3 кг/м³ целесообразно использовать круговые веера скважин диаметром 85 мм, что уменьшает длину скважин и их отклонение от заданного направления между подэтажами. Для получения эффективного качества дробления в блоке следует использовать отбойку на зажатую среду, когда с двух сторон навстречу осуществляют взрыв до восьми слоев, при этом коэффициент разрыхления (зажима) должен находиться в пределах 1,25–1,30.

3. *Доказано*, что использование встречного взрывания рудного массива на отрезную щель позволяет увеличить количество ВВ на одно замедление в 2 раза за счет снижения сейсмического эффекта колебаний после одновременно взрывааемых двух вееров скважинных зарядов, разделенных массивом разрыхленной массы в объеме компенсационного пространства. При этом образуются два фронта сейсмических колебаний, направление перемещения которых взаимно противоположно.

4. *Рекомендована* технология отбойки балансовых запасов блока 5–88–90 на основе расчета максимального количества ВВ на одно замедление и после производства замеров скоростей смещения грунтов на дневной поверхности у основания защищаемых объектов при ведении взрывных работ в блоке 5–84–86 при допустимой скорости смещения массива до 0,8 см/с.

Библиографический список

1. Борисов А. А. *Давление на крепь горизонтальных выработок*. М., Л.: Углетехиздат; 1948. 104 с.
2. Ветров С. В. *Допустимые размеры обнажений горных пород при подземной разработке руд*. М.: Наука; 1975. 223 с.
3. Борисов А. А. *Механика горных пород*. М.: Недра; 1980. 359 с.
4. Фисенко Г. Л. *Предельное состояние горных пород вокруг выработок*. М.: Недра; 1980. 359 с.
5. Слепцов М. Н., Азимов Р. Ш., Мосинец В. Н. *Подземная разработка месторождений цветных и редких металлов*. М.: Недра; 1986. 206 с.
6. Авдеев О. К., Пухальский В. Н., Разумов А. Н. Отработка запасов руды в зоне предохранительного целика под водоемом. *Горный журнал*. 1989;(9):28–30.
7. *Инструкция по безопасному ведению горных работ на рудных и нерудных месторождениях (объектах строительства подземных сооружений), склонных к горным ударам*. Л.: ВНИМИ; 1989. 58 с.

8. Ляшенко В. И., Хоменко О. Е., Кислый П. А. Повышение сейсмической безопасности подземной разработки скальных месторождений на основе применения новых зарядов взрывчатых веществ. *Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации*. 2019;75(8):912–922. DOI: 10.32339/0135-5910-2019-8-912–922.
9. Штеле В. И. *Стенд для моделирования геомеханических процессов в толще горных пород*. Авторское свидетельство 1682559 А1 (СССР); 1991.
10. Nguyen Ngoc Minh, Pham Duc Thang. Tendencies of mining technology development in relation to deep mines. *Mining Science and Technology*. 2019;4(1):16-22. DOI: 10.17073/2500-0632-2019-1-16-22.
11. *Добыча и переработка урановых руд*. Под общ. ред. А. П. Чернова. Киев: Адеф-Украина; 2001. 238 с.
12. Высоцкая Н. А., Пискун Е. В. Основные факторы неблагоприятного воздействия на окружающую среду деятельности калийного производства и способы ее защиты. *Горные науки и технологии*. 2019;4(3):172-180. DOI: 10.17073/2500-0632-2019-3-172-180.
13. Комащенко В. И., Васильев П. В., Масленников С. А. Технологиям подземной разработки месторождений КМА – надежную сырьевую основу. *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*. 2016;(2):101–114.
14. Дмитрак Ю. В., Камнев Е. Н. АО «Ведущий проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт промышленной технологии» – Путь длиной в 65 лет. *Горный журнал*. 2016;(3):6–12.
15. 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.
16. Dold B., Weibel L. Biogeometallurgical pre-mining characterization of ore deposits: An approach to increase sustainability in the mining process. *Environmental Science and Pollution Research*. 2013;20(11):7777–7786.
17. Еременко В. А., Лушников В. Н. Методика выбора «динамической» крепи выработок для месторождений склонных и опасных по горным ударам. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2018;(12):5–12.
18. Reiter K., Heidbach O. 3-D geomechanical-numerical model of the contemporary crustal stress state in the Alberta Basin (Canada). *Solid Earth*. 2014;(5):1123–1149.
19. 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.
20. Соколов И. В., Антипин Ю. Г., Барановский К. В. Исследование конструкции и параметров комбинированной системы разработки наклонного месторождения кварца. *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2017;328(10):85–94.
21. Садовский М. А. *Геофизика и физика взрыва*. М.: Недра; 1997. 334 с.
22. Смирнов С. М., Татарников Б. Б., Александров А. Н. Влияние геодинимических условий отработки рудного участка на технологию очистных работ с закладкой выработанного пространства. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2014;(11):45–51.
23. Khani A., Baghbanan A., Norouzi S., Hashemolhosseini H. *Effects of fracture geometry and Wittke W. Rock Mechanics Based on an Anisotropic Jointed Rock Model (AJRM)*. Verlag: Wilhelm Ernst & Sohn; 2014. 875 p.
24. Shabanimashcool M., Li C. C. Analytical approaches for studying the stability of laminated roof strata. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2015;79:99–108.
25. Wang D. S., Chang J. P., Yin Z. M., Lu Y. G. Deformation and failure characteristics of high and steep slope and the impact of underground mining. In: *Transit Development in Rock Mechanics-Recognition, Thinking and Innovation: Proceedings of the 3rd ISRM Young Scholars Symposium on Rock Mechanics*. USA; 2014. P. 451–457.
26. Иофис М. А., Федоров Е. В., Есина Е. Н., Милетенко Н. А. Развитие геомеханики для решения проблем сохранения земных недр. *Горный журнал*. 2017;(11):98–104.
27. Khasheva Z. M., Golik V. I. The ways of recovery in economy of the depressed mining enterprises of the Russian Caucasus. *International Business Management*. 2015;9(6):1210–1216.
28. Golik V., Komashchenko V., Morkun V., Burdzieva O. Metal deposits combined development experience. *Metallurgical and Mining Industry*. 2015;7(6):591–594.
29. Karaman K., Cihangir F., Kesimal A. A comparative assessment of rock mass deformation modulus. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2015;25(5):735–740.
30. Голик В. И., Комащенко В. И., Разоренов Ю. И. Активация компонентов твердеющих смесей при подземной добыче руд. *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*. 2017;(3):113–123.
31. Каплунов Д. Р., Радченко Д. Н. Принципы проектирования и выбор технологий освоения недр, обеспечивающих устойчивое развитие подземных рудников. *Горный журнал*. 2017;(11):121–125.

32. Рудмин М. А., Мазуров А. К., Рева И. В., Стеблецов М. Д. Перспективы комплексного освоения Бакчарского железорудного месторождения (Западная Сибирь, Россия). *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2018;329(10):87–99.

33. Мухаметшин В. В., Андреев В. Е. Повышение эффективности оценки результативности технологий, направленных на расширение использования ресурсной базы месторождений с трудноизвлекаемыми запасами. *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2018;329(8):30–26.

34. Lyashenko V. I., Khomenko O. E. Enhancement of confined blasting of ore. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2019;11:59–72.

35. Lyashenko V., Topolnij F., Dyatchin V. Development of technologies and technical means for storage of waste processing of ore raw materials in the tailings dams. *Technology audit and production reserves*. 2019;49(3):33–40.

36. Lyashenko V., Khomenko O., Topolny F., Golik V. Development of natural underground ore mining technologies in energy distributed massagers. *Technology audit and production reserves*. 2020;51(1):10–17.

37. Ляшенко В. И., Голик В. И., Дятчин В. З. Складирования хвостов в подземное выработанное пространство и хвостохранилище в виде твердеющих масс. *Обогащение руд*. 2020;(1):41–47. DOI: 10.17580/or.2020.01.08.

References

1. Borisov A. A. *Pressure on horizontal working support*. Moscow, Leningrad: Ugletekhizdat Publ.;1948. 104 p. (In Russ.).

2. Vetrov S. V. *Permissible sizes of rock exposures during underground ore mining*. Moscow: Nauka Publ.; 1975. 223 p. (In Russ.).

3. Borisov A. A. *Rock Mechanics*. Moscow: Nedra Publ.; 1980, 359 p. (In Russ.).

4. Fisenko G. L. *Limit state of rocks around mine workings*. Moscow: Nedra Publ.; 1980, 359 p. (In Russ.).

5. Sleptsov M.N., Azimov R. Sh., Mosinets V. N. *Underground mining of non-ferrous and rare metals*. Moscow: Nedra Publ.; 1986. 206 p. (In Russ.).

6. Avdeev O.K., Pukhalsky V.N., Razumov A.N. Ore reserves mining in the zone of protective pillars under a water body. *Gornyi zhurnal*. 1989;(9):28–30. (In Russ.).

7. *Instructions for safe conduct of mining operations at ore and non-metallic deposits prone to rockburst*. Leningrad: VNIMI Publ.; 1989. 58 p. (In Russ.).

8. Lyashenko V. I., Khomenko O. E., Kisly P. A. Improving seismic safety of underground mining based on applying new explosive charges. *Ferrous metallurgy. Bulletin of Scientific, Technical and Economical Information*. 2019;75(8):912–922. (In Russ.). DOI: 10.32339/0135-5910-2019-8-912–922.

9. Shtele V. I. *The testing bench for modeling geomechanical processes in rock mass*. Inventor's certificate No. 1682559 A1 (USSR); 1991. (In Russ.).

10. Nguyen Ngoc Minh, Pham Duc Thang. Tendencies of mining technology development in relation to deep mines. *Mining Science and Technology*. 2019;4(1):16-22. DOI: 10.17073/2500-0632-2019-1-16-22.

11. *Mining and processing of uranium ores*. Chernov A. P. (gen. ed.) Kyiv: Adef-Ukraine Publ.; 2001. 238 p. (In Russ.).

12. Vysotskaya N. A., Piskun E. V. The main factors of adverse environmental impact of potash production and methods of environmental protection. *Mining Science and Technology*. 2019;4(3):172-180. DOI: 10.17073/2500-0632-2019-3-172-180. (In Russ.).

13. Komashchenko V.I., Vasiliev P.V., Maslennikov S.A. Preparation of reliable resource base for underground development of KMA deposits. *Izvestija Tulskego gosudarstvennogo universiteta. Nauki o zemle*. 2016;(2):101–114. (In Russ.).

14. Dmitrak Yu.V., Kamnev E.N. JSC "Leading Design-and-Survey and Scientific Research Institute of Industrial Technology" – 65 years of development. *Gornyi zhurnal*. 2016;(3):6–12. (In Russ.).

15. 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.

16. Dold B., Weibel L. Biogeometallurgical pre-mining characterization of ore deposits: An approach to increase sustainability in the mining process. *Environmental Science and Pollution Research*. 2013;20(11):7777–7786.

17. Eremenko V.A., Lushnikov V.N. Methodology for selecting "dynamic" support for workings at deposits prone to rockburst. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2018;(12):5–12. (In Russ.).

18. Reiter K., Heidbach O. 3-D geomechanical-numerical model of the contemporary crustal stress state in the Alberta Basin (Canada). *Solid Earth*. 2014;(5):1123–1149.

19. 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.
20. Sokolov I. V., Antipin Yu. G., Baranovsky K. V. Study of design and parameters of the combined system for developing an inclined quartz deposit. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo assets engineering*. 2017;328(10):85–94. (In Russ.).
21. Sadovsky M. A. *Geophysics and Explosion Physics*. Moscow: Nedra Publ.; 1997. 334 p. (In Russ.).
22. Smirnov S. M., Tatarnikov B. B., Aleksandrov A. N. Selecting method of stoping with backfilling of mine goaf depending on geodynamic conditions of ore mining area. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2014;(11):45–51. (In Russ.).
23. Khani A., Baghbanan A., Norouzi S., Hashemolhosseini H. *Effects of fracture geometry and Wittke W. Rock Mechanics Based on an Anisotropic Jointed Rock Model (AJRM)*. Verlag: Wilhelm Ernst & Sohn; 2014. 875 p.
24. Shabanimashcool M., Li C. C. Analytical approaches for studying the stability of laminated roof strata. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2015;79:99–108.
25. Wang D. S., Chang J. P., Yin Z. M., Lu Y. G. Deformation and failure characteristics of high and steep slope and the impact of underground mining. In: *Transit Development in Rock Mechanics-Recognition, Thinking and Innovation: Proceedings of the 3rd ISRM Young Scholars Symposium on Rock Mechanics*. USA; 2014. P. 451–457.
26. Iofis M.A., Fedorov E.V., Esina E.N., Miletenko N.A. Development of geomechanics for solving the problems of subsoil conservation. *Gornyi zhurnal*. 2017;(11):98–104. (In Russ.).
27. Khasheva Z. M., Golik V. I. The ways of recovery in economy of the depressed mining enterprises of the Russian Caucasus. *International Business Management*. 2015;9(6):1210–1216.
28. Golik V., Komashchenko V., Morkun V., Burdzieva O. Metal deposits combined development experience. *Metallurgical and Mining Industry*. 2015;7(6):591–594.
29. Karaman K., Cihangir F., Kesimal A. A. comparative assessment of rock mass deformation modulus. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2015;25(5):735–740.
30. Golik V.I., Komashchenko V.I., Razorenov Yu. I. Activation of hardening mixture components at underground ore mining. *Izvestiâ Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle*. 2017;(3):113–123. (In Russ.).
31. Kaplunov D. R., Radchenko D. N. Design principles and selection of subsoil use technologies ensuring sustainable development of underground mines. *Gornyi zhurnal*. 2017;(11):121–125. (In Russ.).
32. Rudmin M. A., Mazurov A. K., Reva I. V., Stebletsov M. D. Prospects for integrated development of the Bakcharsky iron ore deposit (Western Siberia, Russia). *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo assets engineering*. 2018;329(10):87–99. (In Russ.).
33. Mukhametshin V. V., Andreev V. E. Improving evaluation of technologies aimed at optimizing use of resource base of deposits with hard-to-recover reserves. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo assets engineering*. 2018;329(8):30–26. (In Russ.).
34. Lyashenko V. I., Khomenko O. E. Enhancement of confined blasting of ore. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2019;11:59–72.
35. Lyashenko V., Topolnij F., Dyatchin V. Development of technologies and technical means for storage of waste processing of ore raw materials in the tailings dams. *Technology audit and production reserves*. 2019;49(3):33–40.
36. Lyashenko V., Khomenko O., Topolny F., Golik V. Development of natural underground ore mining technologies in energy distributed masses. *Technology audit and production reserves*. 2020;51(1):10–17.
37. Lyashenko V. I., Golik V. I., Dyatchin V. Z. Stockpiling of tailings in underground mined-out space and a tailing dump in the form of solidifying masses. *Obogashchenie Rud*. 2020;(1):41–47. (In Russ.). DOI: 10.17580/or.2020.01.08.

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ / ORIGINAL PAPERS

DOI: 10.17073/2500-0632-2020-2-119-130

Управление качеством товарной продукции в условиях отработки сложноструктурного угольного месторождения

Азев В. А.¹, Попов Д. В.²¹ООО «СУЭК-Хакасия», г. Черногорск, респ. Хакасия, Россия;²ООО «Восточно-Бейский разрез», с. Кирба, респ. Хакасия, Россия

Аннотация: Глобализация мирового рынка энергетического сырья привела к тому, что в последние десятилетия существенно возросла динамика изменений параметров рынка энергетического угля. Истощение «богатых» месторождений полезных ископаемых предполагает освоение новых месторождений, имеющих более сложную структуру и характеристики. В статье предлагается новый подход к управлению качеством товарной продукции при отработке сложноструктурного угольного месторождения, показавший свою эффективность в условиях Бейского месторождения. В основе подхода к управлению качеством товарной продукции лежит идея о релевантности повышения качества технологических процессов и их дифференциации по критерию максимального соотношения ценности и себестоимости продукции. Предложены типовые решения и результаты реализации разработанного методического подхода к управлению качеством товарной продукции на примере Восточно-Бейского угольного разреза. Применены методы анализа технологических факторов, влияющих на выбор параметров технологических операций, и обоснование процессов при подготовке блоков, экскавации, транспортировании, складировании и переработке продукции при открытом способе отработки сложноструктурного месторождения каменного угля. Реализация разработанных технологических решений в условиях Восточно-Бейского каменноугольного разреза позволила получить положительные результаты, выражающиеся в росте качественных показателей товарной продукции на 4–6 %.

Ключевые слова: качество продукции, управление качеством товарной продукции, сложноструктурное угольное месторождение, качество технологических процессов, ценность продукции, себестоимость продукции.

Для цитирования: Азев В. А., Попов Д. В. Управление качеством товарной продукции в условиях отработки сложноструктурного угольного месторождения. *Горные науки и технологии*. 2020;5(2):119-130. DOI: 10.17073/2500-0632-2020-2-119-130.

Marketable Product Quality Management in Conditions of Coal Mining at a Deposit of Complicated Structure

V. A. Azev¹, D. V. Popov²¹LLC SUEK-Khakassia, Chernogorsk, Khakassia, Russia;²LLC Vostochno-Beisky Razrez (East Bei Colliery), Kirba, Khakassia, Russia

Abstract: Globalization of the energy feedstock market has led to the fact that, in recent decades, parameters of the thermal coal market significantly changed. Depletion of “rich” deposits implies development of new deposits of more complicated structure and characteristics. The paper proposes a new approach to managing quality of marketable products in the course of development of a coal deposit of complicated structure, which has demonstrated its effectiveness in the conditions of the Beisky deposit. The approach to managing quality of the marketable products is based on the concept of the relevance of improving the quality of technological processes and their differentiation according to the criterion of the maximum ratio of value and cost of the products. Typical solutions are proposed, and the results of implementation of the developed methodological approach to managing quality of the marketable products as exemplified by the Vostochno-Beisky open-pit coal mine are presented. Methods of analysis of technological factors governing the selection of parameters of the process operations were used, and the substantiation of the processes for preparation of blocks, excavation, transportation, storage and processing of products in conditions of open pit mining of a coal deposit having complicated structure was performed. The implementation of the developed technological solutions in



the conditions of the Vostochno-Beisky open-pit coal mine allowed to obtain positive results, expressed in the growth of quality indicators of the marketable products by 4–6 %.

Keywords: product quality, product quality management, coal deposit of complicated structure, quality of technological processes, product value, product cost.

For citation: Azev V. A., Popov D. V. Marketable product quality management in conditions of coal mining at a deposit of complicated structure. *Gornyye nauki i tekhnologii = Mining Science and Technology (Russia)*. 2020;5(2):119-130. (In Russ.). DOI: 10.17073/2500-0632-2020-2-119-130.

Актуальность

Истощение «богатых» месторождений полезных ископаемых предполагает освоение новых месторождений, имеющих более сложную структуру и характеристики. Так, например, в угольной отрасли России доля продукции, произведенной на сложноструктурных месторождениях, расположенных в таких регионах, как Республика Хакасия (Бейский угольный кластер – Восточно-Бейский, Кирбинский, Майрыхский разрезы и т.д.) и Республика Бурятия (Никольский разрез) к 2030 г. вырастет в 3 раза и составит 11,7 %.

Глобализация мирового рынка энергетического сырья привела к тому, что в последние десятилетия существенно возросла динамика изменения параметров рынка энергетического угля. Очередное падение цен на угольную продукцию для энергетики началось в 2019 г., оно обусловлено главным образом отказом стран Западной Европы от «грязных» видов топлива. В течение одного календарного года цены на стандартную угольную продукцию снизились в 1,5-2,0 раза. Кризис обострил системные несоответствия, характерные для угольных разрезов России, обрабатывающих сложноструктурные месторождения. Традиционные проектные технические и технологические решения ориентированы на стабильный спрос продукции и ориентированы на достаточно постоянные значения основных параметров горнотехнической системы разреза. В настоящее время для обеспечения жизнеспособности горного предприятия, необходимо выдерживать падение спроса на угольную продукцию, которое достигает 20–30 % на протяжении года, при росте стоимости материально-технических, энергетических ресурсов, тарифов перевозчиков на 5–15 %.

Одновременно рынок ужесточает требования к качеству угольной продукции, ориен-

тированной на энергетическую отрасль: средняя зольность отгружаемого угля в России в 1991 г. составляла 18,2 %, в 2018 – 13 %.

Управление качеством угольной продукции предполагает выбор, подготовку и реализацию решений по повышению соотношения ценности и себестоимости, что несет в себе риски потери устойчивости предприятия. Поэтому задача разработки методического подхода для управления качеством товарной продукции угольного разреза в условиях обработки сложноструктурного месторождения обретает особую актуальность.

Целью работы является обоснование и разработка методического подхода для управления качеством товарной продукции предприятия с открытым способом добычи в условиях обработки сложноструктурного месторождения каменного угля.

Глоссарий

Сложноструктурное угольное месторождение – месторождение, имеющее несколько угольных пластов и пропластков с различной мощностью и с существенными отличиями качественных характеристик полезного ископаемого. Сложноструктурное месторождение характеризуется неравномерной и сильной изменчивостью качественных характеристик полезного ископаемого, а также его сложной морфологией. Типичным представителем таких месторождений является Бейское каменноугольное месторождение, расположенное в Республике Хакасия.

Качество товарной продукции – совокупность свойств получаемой на предприятии продукции, определяющих степень ее пригодности для использования по назначению.

Ценность продукции – важность, значимость свойств товара или услуги для потребителя с позиции удовлетворения его потребности. Традиционно в угольной отрасли применяются следующие критерии оценки ценности

продукции: зольность, теплотворная способность, содержание примесей.

Себестоимость продукции – совокупность издержек предприятия на производство и реализацию продукции.

Управление качеством товарной продукции – деятельность персонала предприятия, нацеленная на обеспечение наилучшего соотношения средневзвешенной ценности и себестоимости продукции на основе корректировок и реализации функций планирования и контроля качества, коммуникации (информации), разработки мероприятий и реализации соответствующих технологических и организационных решений.

Качество технологического процесса – устойчивая совокупность параметров технологических операций, обеспечивающих наилучшее соотношение средневзвешенной ценности и себестоимости продукции предприятия в изменяющихся условиях.

Краткий обзор исследований в области управления технологическими параметрами и проектирования открытой разработки угольных месторождений

В основе существующих методик выбора и управления технологическими параметрами открытой угледобычи лежат фундаментальные принципы, сформулированные В. В. Ржевским, А. И. Арсентьевым, В. С. Хохряковым [1–3].

Теория проектирования горных предприятий с применением аналитических методов сформирована в трудах Н. В. Мельникова, К. Н. Трубецкого, Д. Р. Каплунова, С. Е. Гавришева, [4–7].

Значительная часть исследователей внесли существенный вклад в решение сложных проблем не только проектирования горных предприятий, но и поиска комплексных технологических решений при реализации разработки месторождений полезных ископаемых открытым способом.

Существенный вклад в решение проблем, возникающих по мере развития теории проектирования освоения недр в области открытых горных работ, внесли исследования С. Ж. Галиева, L. L. Coleman, К. Р. Katen, В. Л. Яковлева, В. А. Галкина, В. В. Истомина, А. В. Соколовский, Е. Ф. Шешко, W. W. Kaufman, А. М. Newman [8–18]. Достаточно

интересные подходы в решении технологических проблем, в том числе с применением селективной отработки, управления качеством посредством смешивания продукции, решения оптимизационных задач реализации технологии и процессов добычи полезных ископаемых на открытых горных работах можно наблюдать в работах ученых США, Чили, Канады, Австралии и других стран [12–29].

Для достижения цели исследования в статье были использованы теоретические и методические положения повышения качества и ценности продукции угольного разреза, сформулированные в работах М. И. Щадова, В. Б. Артемьева, В. С. Коваленко, Виницким Л. С., Виницким К. Е., Куржей С. П., Шаль Р. Р., [30–36].

Благодаря усилиям исследователей и практиков создана научно-методическая база по определению производительности и границ карьеров, регулированию режима горных работ, разработаны способы ведения горных работ в различных горно-геологических условиях, которые достаточно широко отражают вопрос повышения эффективности производства и качества продукции на угольных разрезах. Отработка сложноструктурных месторождений имеет свои технологические особенности, а это означает, что сложившиеся методы управления качеством продукции нуждаются в уточнении, а применяемые на предприятиях приемы и технологии ведения горных работ – в изучении, обобщении и систематизации, в условиях изменчивости внешней среды.

Основное содержание

Идея подхода – обеспечение требуемого уровня качества товарной продукции угледобывающего предприятия в условиях отработки сложноструктурного месторождения каменного – угля достигается повышением качества технологических процессов и их дифференциацией по критерию максимального соотношения ценности и себестоимости продукции.

Схема разработанного методического подхода к управлению качеством товарной продукции предприятия в условиях отработки сложноструктурного месторождения каменного угля, представленная на рис. 1.

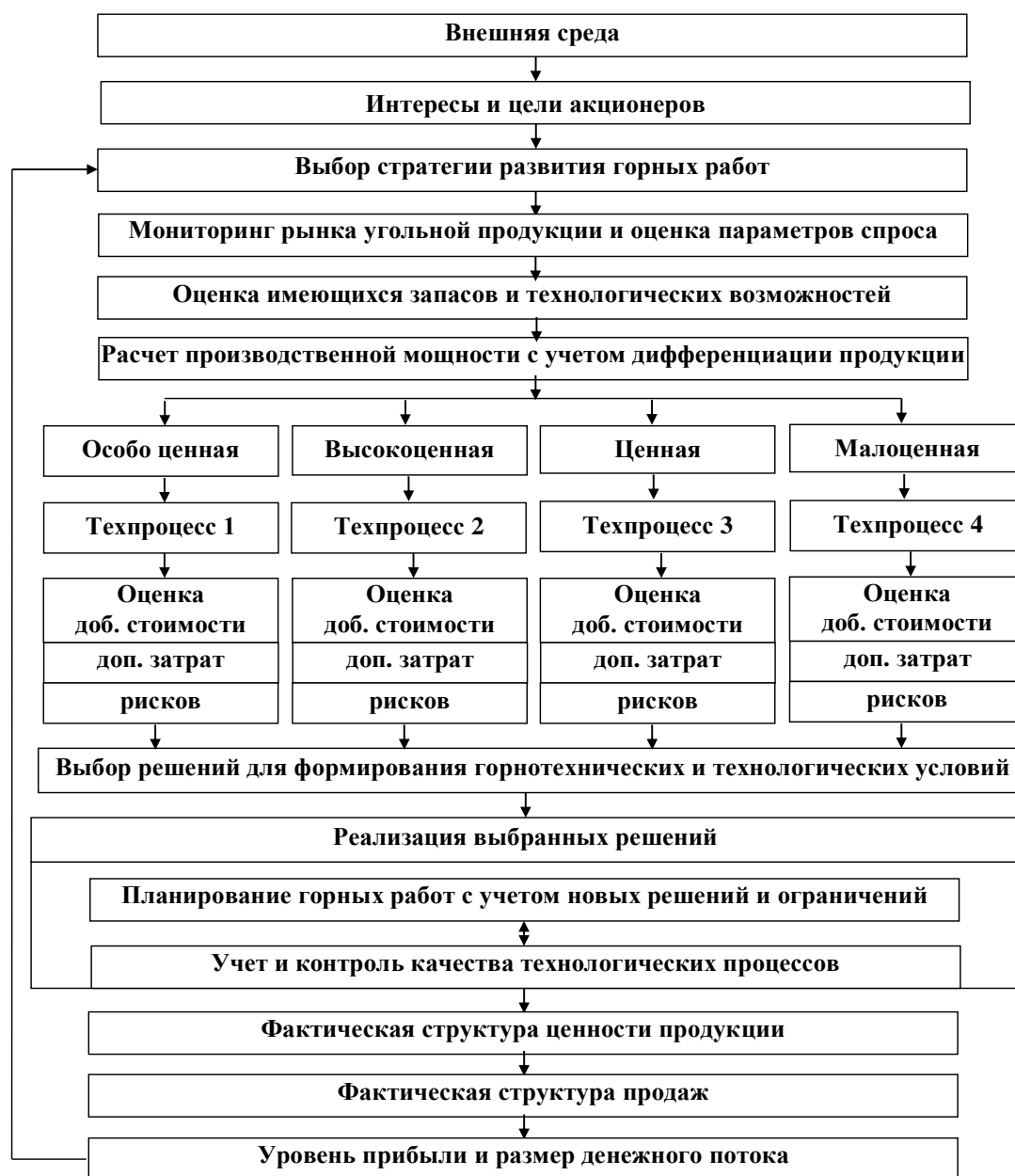


Рис. 1. Схема методического подхода к управлению качеством товарной продукции в условиях отработки сложноструктурного угольного месторождения

Fig. 1. Diagram of the methodological approach to managing quality of the marketable products in the conditions of open pit mining of coal deposit having complicated structure

Отличительной особенностью подхода являются:

– расчет производственной мощности предприятия с учетом дифференциации ценности продукции по следующим категориям: особо ценная; высокоценная; ценная; малоценная. Распределение продукции по ценности зависит от особенностей месторождения и полезного ископаемого. Например, для условия Бейского месторождения к особо ценной следует

относить угольную продукцию с теплотой сгорания более 5800 ккал/кг; к высокоценной – 5550–5800 ккал/кг; к ценной 5400–5550; к малоценной – менее 5400 ккал/кг;

– формирование соответствующих каждой категории ценности продукции параметров технологических процессов, включая подготовку, экскавацию, транспортирование, складирование и переработку;

– учет экономической целесообразности освоения нового технологического процесса на основе расчета разности между добавленной стоимостью, полученной в результате повышения качества продукции, и дополнительными затратами на реализацию мероприятий по повышению качества;

– учет возможных ограничений производительности горнотранспортного оборудования для реализации мероприятий по повышению качества;

– соблюдение высокого качества технологических процессов путем учета, мониторинга и регулирования.

В результате проведенных в 2014–2019 гг. исследований выявлены наиболее существенные технологические факторы, влияющие на выбор и регулирование параметров технологических процессов и технологических решений при подготовке, экскавации, транспортировании, складировании и переработке продукции предприятия открытого способа добычи в условиях отработки сложноструктурного месторождения каменного угля, которые представлены в табл. 1.

Для оценки рациональности применения новых технологических решений, направленных на повышение качества продукции, разработана экономико-математическая модель, представленная ниже:

$$\frac{V_{ev} Pr_{ev} + V_{hv} Pr_{hv} + V_v Pr_v + V_{lv} Pr_{lv}}{Ex_a + (Ex_{ev} + Ex_{lv} + Ex_v + Ex_{lv})} > \frac{V_{cp} Pr_{cp}}{Ex_d},$$

где V_{ev} , V_{hv} , V_v , V_{lv} – объемы продукции по категориям «особо ценная – especially value», «высокоценная – high value», «ценная – value», «малоценная – low value» соответственно, тыс. т; Pr_{ev} , Pr_{hv} , Pr_v , Pr_{lv} – цена (price) продукции по категориям «особо ценная», «высокоценная», «ценная», «малоценная» соответственно, руб./т; V_{cp} – объемы продукции до реализации решений по повышению качества угля, тыс. т; Pr_{cp} – цена товарной продукции (средняя – average) до реализации решений по повышению качества

угля, руб./т; Ex_a – себестоимость (cost price) товарной продукции (средняя – average) до реализации решений по повышению качества угля; Ex_{ev} , Ex_{hv} , Ex_v , Ex_{lv} – дополнительные затраты (expenses) на реализацию технологических решений по повышению качества угля по категориям «особо ценная», «высокоценная», «ценная» и снижение цены в категории «малоценная» относительно средней до реализации мероприятий, руб./т; Ex_d – дополнительные затраты на реализацию технологических решений по повышению качества угля по категориям «особо ценная», «высокоценная», «ценная» и снижение цены в категории «малоценная» относительно средней до реализации мероприятий, руб./т.

Проведенное с помощью разработанной модели экономико-математическое моделирование позволило определить наиболее рациональные технологические решения для повышения качества угольной продукции в каждом процессе и опробовать их в технологии добычи угля на Восточно-Бейском угольном разрезе.

Основные этапы отработки сложноструктурного угольного месторождения открытым способом

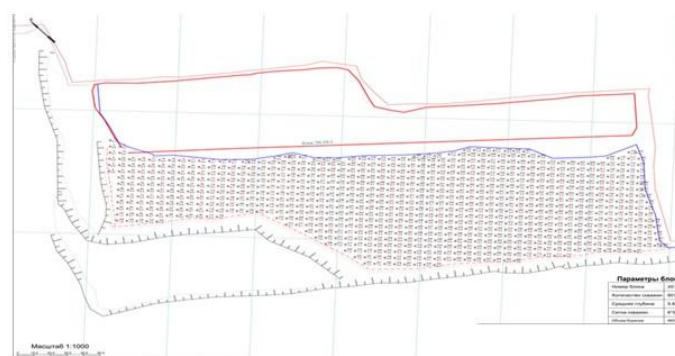
Подготовка угля к выемке. В результате проведения ряда экспериментальных взрывов были установлены рациональные сетка скважин (рис. 2, а) и конструкция заряда (рис. 2, б) для оптимального дробления угольного пласта по крупности куска с наименьшим перемешиванием породных прослоев для дальнейшей селективной выемки полезного ископаемого. После проведения взрывных работ проводится геологоразведка с использованием экскаватора РС-300. В результате геологоразведки корректируются геологические разрезы со структурной колонкой на протяжении всего участка отработываемого угольного пласта, в которых указывается мощность породных прослоев, глубина их залегания и протяженность.

Таблица 1

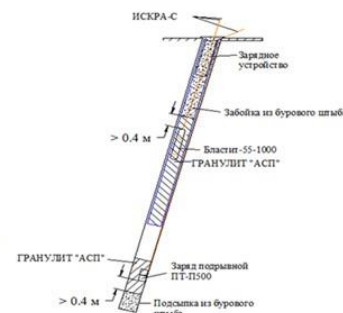
**Связь факторов, параметров технологических процессов и ценности продукции
(Бейское каменноугольное месторождение)**
The relationship of factors, parameters of technological processes, and the product value (Beisky coal deposit)

Процесс	Технологический фактор	Технологические параметры и решения для достижения ценности продукции			
		Особо ценная	Высокоценная	Ценная	Малоценная
Подготовка	Крупность куска – сетка скважин	Сетка скважин 4×4 до 6×6		Сетка скважин 3×3 до 6×6	
	Засорение – конструкция заряда	Рассредоточенный с учетом технологии Blast Maker	Рассредоточенный с подсыпкой 0,5 м	С подсыпкой 0,2–0,4 м	С подсыпкой менее 0,2 м
Эксплуатация	Засорение – селективная выемка	Селективная по блоку и слоям	Селективная по слоям	Валовая	
	Точность селекции – емкость ковша экскаватора	Минимально возможная		Средняя	Максимальная
	Крупность куска – емкость ковша экскаватора	Максимально возможная		Средняя	Минимальная
Транспортирование	Крупность куска – емкость кузова автосамосвала	Максимально возможная		Средняя	Минимальная
Складирование	Засорение – количество штабелей	8	5	4	3
	Гибкость – объем штабелей	Максимальный технологически возможный		Средний	Минимальный
Переработка и отгрузка	Засорение – способ обогащения	Глубокое	Породовыборка	Отсутствует	
	Измельчение – количество пересыпов	Минимально возможное		Максимальное	

а) сетка бурения



б) конструкция заряда



в) геологоразведка с использованием экскаватора РС-300

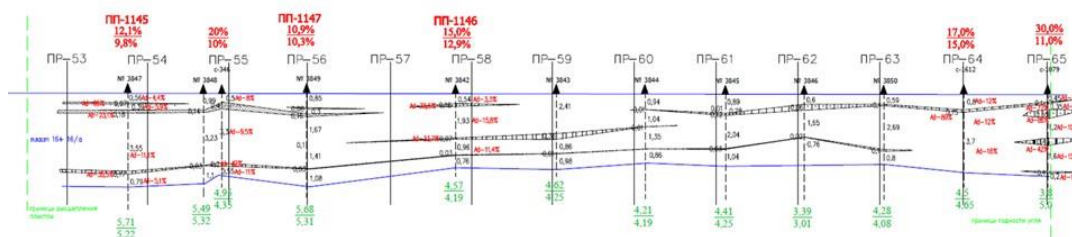


Рис. 2. Примеры технологических решений в процессе подготовки угля к выемке

Fig. 2. Examples of technological solutions in the process of preparing coal for extraction

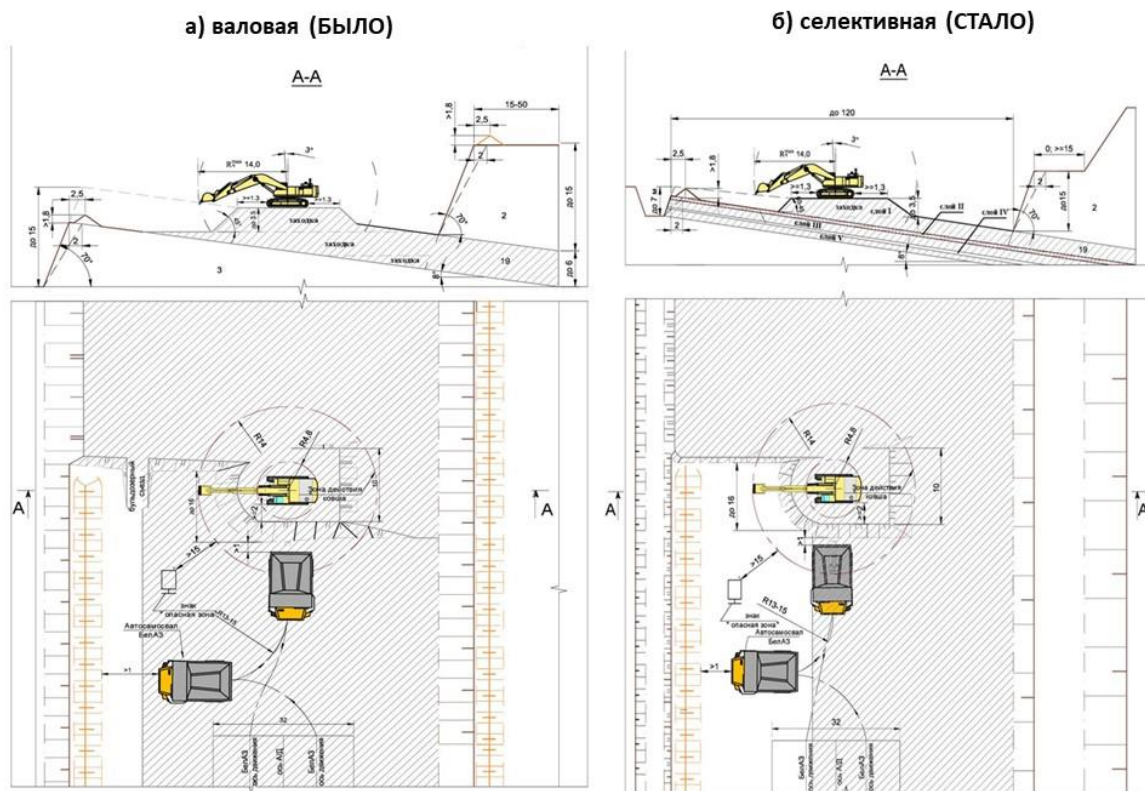


Рис. 3. Примеры технологических решений в процессе экскавации (выемки) угля
Fig. 3. Examples of technological solutions in the process of excavation (extraction) of coal



Рис. 4. Примеры технологических решений в процессе складирования угля
Fig. 4. Examples of process solutions in coal stockpiling

Выемка угля. После составления геологических разрезов разрабатывается проект селективной выемки угля (рис. 3), описывающий технологические параметры и порядок послойной выемки угля или породы. Проект разрабатывается индивидуально на каждый обрабатываемый участок (блок) угольного пласта.

Складирование угля. Повышение эффективности управления качеством в подпроцессе складирования заключается в его зонировании по теплотворной способности и включает увеличение емкости склада и количества штабелей (рис. 4).

Методика оценки качества технологического процесса

Предлагается методика оценки качества технологического процесса на предприятиях открытого способа добычи в условиях обработки сложноструктурного месторождения каменного угля, отличающаяся тем, что расчет, учет и мониторинг значений коэффициента качества технологических процессов угледобывающего предприятия (KPQ) производятся на основе оценки состояния рабочих мест и процессов по следующим формулам:

$KPQ = K_1 \cdot K_p + K_2 \cdot K_e + K_3 \cdot K_t + K_4 \cdot K_w + K_5 \cdot K_r + K_6 \cdot K_s$,
 где $K_1, K_2, K_3 \dots K_6$ – весовые коэффициенты процессов подготовки (preparation), экскавации (excavation), транспортировки (transportation), складирования (warhousing) горной массы, переработки (recast) и отгрузки (shipment) продукции соответственно; $K_p, K_e, K_t \dots K_s$ – коэффициенты качества процессов подготовки, экскавации, транспортировки, складирования горной массы, переработки и отгрузки продукции соответственно, рассчитываются по формуле:

$$PQ = N_{rat} / N_{total},$$

где N_{rat} – фактическое соблюдение рациональных технологических параметров; N_{total} – общее количество технологических параметров по стандарту процесса.

Использование разработанной методики позволяет выбрать характер воздей-

ствия на технологический процесс и меры регулирования в зависимости от полученного диапазона значений коэффициента качества технологического процесса:

– 0,00–0,50 – низкое качество технологического процесса, высокая интенсивность внешних воздействий, например нахождение в угольном забое мастера участка технического контроля, почасовой отчет горного мастера о состоянии и параметрах угольного забоя;

– 0,50–0,75 – среднее качество технологического процесса и интенсивность внешних воздействий, например разработка и реализация еженедельных и ежемесячных планов принятия дополнительных мер по повышению качества угольной продукции;

– 0,75–1,00 – высокое качество технологического процесса, низкая интенсивность внешних воздействий, направленная на поддержание и развитие полученных результатов, например обучение персонала прогрессивным методам работы.

Использование предложенного показателя оценки качества технологического процесса и его сравнение с качеством товарной продукции – соотношением ценности и себестоимости на примере работы ООО «Восточно-Бейский угольный разрез» за период январь–октябрь 2019 г. показало высокую тесноту их связи, выраженную коэффициентом детерминации, что представлено на рис. 5.

Применение разработанного методического подхода к управлению качеством товарной продукции на предприятиях открытого способа добычи, обрабатывающих сложноструктурное месторождение каменного угля, создает возможность повышения экономической эффективности их деятельности и, как следствие, конкурентоспособности. В условиях разреза Восточно-Бейский ежегодный экономический эффект от реализации разработанного методического подхода составляет около 200 млн руб.

Соотношение ценности и себестоимости продукции, отн. ед.

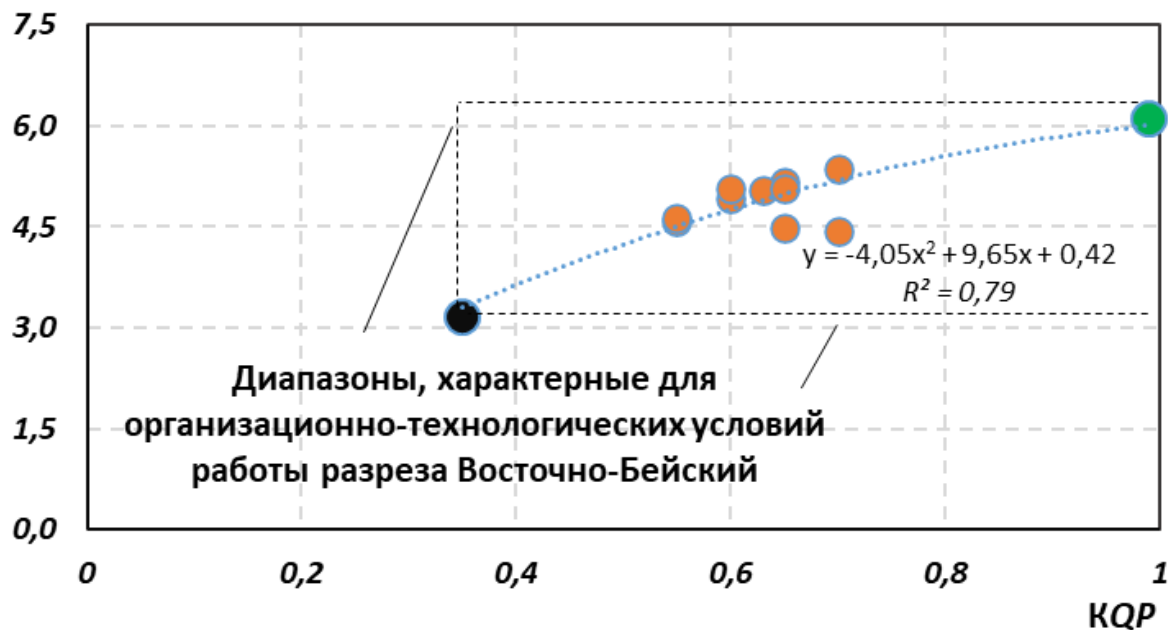


Рис. 5. Взаимосвязь качества угольной продукции и качества технологического процесса (ООО «Восточно-Бейский разрез», факт 10 месяцев 2019 г.)

Fig. 5. The relationship between the quality of coal products and the work process quality (Vostochno-Beisky Razrez LLC (East Bei open-pit coal mine), the factual data for 10 months of 2019)

Выводы

Разработанный методический подход управления качеством товарной продукции, в основе которого лежит идея дифференциации производимой продукции по категориям ценности, экономически обоснованный выбор рациональных параметров технологических процессов и освоение этих параметров позволяют

существенно повысить конкурентоспособность предприятий открытого способа добычи, обрабатывающих сложноструктурные месторождения каменного угля, путем повышения ценности продукции без использования обогатительной фабрики и снижения затрат при подготовке запасов, выемке, транспортировании, складировании и отгрузке продукции.

Библиографический список

1. Арсентьев А. И., Холодняков Г. А. *Проектирование горных работ при открытой разработке месторождений*. М.: Недра; 1994. 336 с.
2. Ржевский В. В. *Открытые горные работы*. М.; 1985. 512 с.
3. Хохряков В.С. *Открытая разработка месторождений полезных ископаемых*. М.: Недра; 1982. 280 с.
4. Мельников Н.В. *Открытая разработка месторождений*. Избр. труды. М.: Наука; 1985. 280 с.
5. Трубецкой К. Н., Потапов М. Г., Винницкий К. Е. и др. *Открытые горные работы*. Справочник. М.: Горное бюро; 1994. 590 с.
6. Каплунов Д. Р. *Комплексное освоение рудных месторождений: проектирование и технология подземной разработки*. М.: ИПКОН РАН; 1998. 383 с.
7. Гавришев С. Е. *Организационно-технологические методы повышения надежности и эффективности работы карьера*. Магнитогорск: МГТУ; 2002. 217 с.
8. Rossi M. E., Deutsch C. V. *Mineral resource estimation*. Springer, Dordrecht; 2014. P. 1–332. DOI: 10.1007/978-1-4020-5717-5.
9. Goovaerts P. Geostatistics for natural resources evaluation. *Technometrics*. Oxford University Press. 1997:42.
10. Галиев С. Ж. *Оптимизация параметров горнотранспортных систем карьеров на основе имитационного моделирования*. Дис. ... д-ра техн. наук. Алматы; 1997. 391 с.

11. Trubetskoy K. N., Zharikov I. F., Shenderov A. I. Improvement of cyclical-and-continuous system design in open pit mines. *Gornyy Zhurnal*. 2015;(1):21–25.
12. Topp V., Soames L., Parham D., & Bloch H. *Productivity in the mining industry: Measurement and interpretation*. Productivity Commission, Government of Australia, Staff Working Papers; 2008.
13. White B., Seib, W., Isokangas T. Mine planning. In: R. J. Kininmonth, E. Y. Baafi (eds.). *Australasian Coal Mining Practice*. Monograph series No12. 3rd ed. Carlton, Vic: Australasian Institute of Mining and Metallurgy; 2009. P. 137–161.
14. Drebenstedt C., Ritter R., Supru, V.I., Agafonov Y.G. Cyclical-And-continuous method and in-pit crushing operation experience in the world. *Gornyy Zhurnal*. 2015;(11):81–87. DOI: 10.17580/gzh.2015.11.17.
15. Fu Z., Asad M.W.A., Topal E. A new model for open-pit production and waste-dump scheduling. *Engineering Optimization*. 2019;51(4):718–732. DOI: 10.1080/0305215X.2018.1476501.
16. Coleman L. L. *International Coal*. 1998 ed. Washington, DC: National Mining Association; 1999.
17. Ward Colin R. (ed.) *Coal Geology and Coal Technology*. Melbourne: Blackwell Scientific; 1984.
18. Mousavi A., Kozan E., Liu S. Q. Open-pit block sequencing optimization: A mathematical model and solution technique. *Engineering Optimization*. 2016;48(11):1932–1950. DOI: 10.1080/0305215X.2016.1142080.
19. Eivazy H., Askari-Nasab H. A mixed integer linear programming model for short-term open pit mine production scheduling. *Transactions of the Institutions of Mining and Metallurgy, Section A: Mining Technology*. 2012;121(2):97–108. DOI: 10.1179/1743286312Y.0000000006.
20. Галиев С. Ж. *Автоматизированное корпоративное управление геотехнологическими комплексами на открытых разработках*. Алматы; 2007. 234 с.
21. Matamoros M. E. V., Dimitrakopoulos R. Stochastic short-term mine production schedule accounting for fleet allocation, operational considerations and blending restrictions. *European Journal of Operational Research*. 2016;255(3):911–921. DOI: 10.1016/j.ejor.2016.05.050.
22. Katen K. P. Modern Mining Methods – Longwall, Shortwall. *Elements of Practical Coal Mining*. 2nd ed. Crickmer D. F., Zegeer D. A. (eds.) New York: Society of Mining Engineers, American Institute of Mining and Metallurgy; 1982.
23. Яковлев В. Л., Азев В. А., Макаров А. М. *Внутрипроизводственное планирование в условиях инновационного развития угледобывающего предприятия*. Челябинск: АБРИС; 2019. 164 с.
24. Boland N., Dumitrescu I., Froyland G., Gleixner A. M. LP-based disaggregation approaches to solving the open pit mining production scheduling problem with block processing selectivity. *Computers and Operations Research*. 2009;36(4):1064–1089. DOI: 10.1016/j.cor.2007.12.006.
25. Галкин В. А. *Технологические основы проектирования и планирования грузопотоков на рудных карьерах с автомобильным транспортом*. Дис. ... д-ра техн. наук. Магнитогорск; 1987. 290 с.
26. Истомин В. В. О методологических принципах открытых горных работ. *Научные проблемы горного производства*. М.: Изд-во МГГУ; 2000.
27. Shishvan M.S., Sattarvand J. Long term production planning of open pit mines by ant colony optimization. *European Journal of Operational Research*. 2015;240(3):825–836. DOI: 10.1016/j.ejor.2014.07.040.
28. Budeba M. D., Joubert J. W., Webber-Youngman R., Shafiee S. Predicting the efficiency of a surface coal mine for competitiveness. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*. 2017;31(3):187–204. DOI: 10.1080/17480930.2015.1135669.
29. Abdel Sabour S.A., Dimitrakopoulos R. Incorporating geological and market uncertainties and operational flexibility into open pit mine design. *Journal of Mining Science*. 2011;47(2):191–201. DOI: 10.1134/S1062739147020067.
30. Соколовский А. В. *Методология проектирования технологического развития действующих карьеров*. Дис. ... д-ра техн. наук. Челябинск; 2009. 276 с.
31. Шешко Е. Ф. *Разработка полезных ископаемых открытым способом*. М.: Углетехиздат; 1949. 347 с.
32. Щадов М. И., Виницкий К. Е., Шаль Р. Р. *Опыт совершенствования технологии и управления качеством угля в ПО «Экибастузуголь»*. Обзор. ЦНИЭИуголь. М.; 1985.
33. Chatterje S., Sethi M.R., Asad M.W.A. Production phase and ultimate pit limit design under commodity price uncertainty. *European Journal of Operational Research*. 2016;248(2):658–667. DOI: 10.1016/j.ejor.2015.07.012.
34. Артемьев В. Б. *Технологические и организационные механизмы эффективного функционирования угольной компании при комплексном освоении месторождений*. Дис. ... д-ра техн. наук. М.; 2004. 259 с.
35. Коваленко В. С., Артемьев В. Б., Опанасенко П. И., Исайченков А. Б. *Технологические схемы проведения капитальных и разрезных траншей на угольных разрезах*. М.; 2011. 408 с.
36. Виницкий К. Е., Шаль Р. Р. *Управление качеством угля на разрезах ПО «Экибастузуголь»*. Обзор. ЦНИЭИуголь. М.; 1981.

References

1. Arsenyev A.I., Kholodnyakov G.A. *Designing open pit mining*. Moscow: Nedra Publ.; 1994. 336 p. (In Russ.).
2. Rzhovsky B.B. *Open pit mining*. Moscow; 1985. 512 p. (In Russ.).
3. Khokhryakov V.S. *Open pit mining*. Moscow: Nedra Publ.; 1982. 280 p. (In Russ.).
4. Melnikov N.V. *Open pit mining*. Selecta. Moscow: Nauka Publ.; 1985. 280 p. (In Russ.).
5. Trubetskoy K.N., Potapov M.G., Vinnitsky K.E., et al. *Open pit mining*. Reference book. Moscow: Bureau of Mines Publ.; 1994. 590 p. (In Russ.).
6. Kaplunov D. R. *Integrated development of ore deposits: design and methods of underground mining*. Moscow: IPKON RAS Publ.; 1998. 383 p. (In Russ.).
7. Gavrishchev, S.E. *Organizational and technological methods for improving reliability and efficiency of an open pit operation*. Magnitogorsk: MSTU Publ.; 2002. 217 p. (In Russ.).
8. Rossi M. E., Deutsch C. V. *Mineral resource estimation*. Springer, Dordrecht; 2014. P. 1–332. DOI: 10.1007/978-1-4020-5717-5.
9. Goovaerts P. *Geostatistics for natural resources evaluation*. *Technometrics*. Oxford University Press. 1997;42.
10. Galiev S.Zh. *Optimization of open pit mining-transport system parameters using simulation technique*. Doctoral thesis in Engineering Science. Almaty; 1997. 391 p. (In Russ.).
11. Trubetskoy K.N., Zharikov I.F., Shenderov A.I. Improvement of cyclical-and-continuous system design in open pit mines. *Gornyi Zhurnal*. 2015;(1):21–25. (In Russ.).
12. Topp V., Soames L., Parham D., & Bloch H. *Productivity in the mining industry: Measurement and interpretation*. Productivity Commission, Government of Australia, Staff Working Papers; 2008.
13. White B., Seib, W., Isokangas T. Mine planning. In: R. J. Kininmonth, E. Y. Baafi (eds). *Australasian Coal Mining Practice*. Monograph series No12. 3rd ed. Carlton, Vic: Australasian Institute of Mining and Metallurgy; 2009. P. 137–161.
14. Drebenstedt C., Ritter R., Supru, V.I., Agafonov Y.G. Cyclical-And-continuous method and in-pit crushing operation experience in the world. *Gornyi Zhurnal*. 2015;(11):81–87. DOI: 10.17580/gzh.2015.11.17.
15. Fu Z., Asad M.W.A., Topal E. A new model for open-pit production and waste-dump scheduling. *Engineering Optimization*. 2019;51(4):718–732. DOI: 10.1080/0305215X.2018.1476501.
16. Coleman L. L. *International Coal*. 1998 ed. Washington, DC: National Mining Association; 1999.
17. Ward Colin R. (ed.) *Coal Geology and Coal Technology*. Melbourne: Blackwell Scientific; 1984.
18. Mousavi A., Kozan E., Liu S. Q. Open-pit block sequencing optimization: A mathematical model and solution technique. *Engineering Optimization*. 2016;48(11):1932–1950. DOI: 10.1080/0305215X.2016.1142080.
19. Eivazy H., Askari-Nasab H. A mixed integer linear programming model for short-term open pit mine production scheduling. *Transactions of the Institutions of Mining and Metallurgy, Section A: Mining Technology*. 2012;121(2):97–108. DOI: 10.1179/1743286312Y.0000000006.
20. Galiev S. Zh. *Automated corporate management of geotechnological complexes in open-pit mining*. Almaty; 2007. 234 p. (In Russ.).
21. Matamoros M. E. V., Dimitrakopoulos R. Stochastic short-term mine production schedule accounting for fleet allocation, operational considerations and blending restrictions. *European Journal of Operational Research*. 2016;255(3):911–921. DOI: 10.1016/j.ejor.2016.05.050.
22. Katen K. P. Modern Mining Methods – Longwall, Shortwall. *Elements of Practical Coal Mining*. 2nd ed. Crickmer D. F., Zegeer D. A. (eds.) New York: Society of Mining Engineers, American Institute of Mining and Metallurgy; 1982.
23. Yakovlev V. L., Azev V. A., Makarov A.M. *Intra-production planning in the conditions of innovative development of a coal mining enterprise*. Chelyabinsk: ABRIS Publ., 2019. 16 p. (In Russ.).
24. Boland N., Dumitrescu I., Froyland G., Gleixner A. M. LP-based disaggregation approaches to solving the open pit mining production scheduling problem with block processing selectivity. *Computers and Operations Research*. 2009;36(4):1064–1089. DOI: 10.1016/j.cor.2007.12.006.
25. Galkin V.A. *Technological basis for design and planning of freight traffic at open pits using motor transport*. Doctoral thesis in Engineering Science. Magnitogorsk; 1987. 290 p. (In Russ.).
26. Istomin V. V. About methodological principles of open pit mining. *Scientific problems of mining*. Moscow: MGGU Publishing House; 2000. (In Russ.).
27. Shishvan M.S., Sattarvand J. Long term production planning of open pit mines by ant colony optimization. *European Journal of Operational Research*. 2015;240(3):825–836. DOI: 10.1016/j.ejor.2014.07.040.
28. Budeba M. D., Joubert J. W., Webber-Youngman R., Shafiee S. Predicting the efficiency of a surface coal mine for competitiveness. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*. 2017;31(3):187–204. DOI: 10.1080/17480930.2015.1135669.

29. Abdel Sabour S. A., Dimitrakopoulos R. Incorporating geological and market uncertainties and operational flexibility into open pit mine design. *Journal of Mining Science*. 2011;47(2):191–201. DOI: 10.1134/S1062739147020067.
30. Sokolovsky A. V. Methodology for designing technological development of operating open pits. Doctoral thesis in Engineering Science. Chelyabinsk; 2009. 276 p. (in Russian).
31. Sheshko E. F. *Open-pit mining of minerals*. Moscow: Ugletekhizdat Publ.; 1949. 347 p. (In Russ.).
32. Shchadov M. I., Vinitsky K. E., Shal' P. P. *Improving technological solutions and coal quality management in the Ekibastuzugol Production Concern*. Overview. TsNIEIugol, Moscow; 1985. (In Russ.).
33. Chatterje S., Sethi M.R., Asad M.W.A. Production phase and ultimate pit limit design under commodity price uncertainty. *European Journal of Operational Research*. 2016;248(2):658–667. DOI: 10.1016/j.ejor.2015.07.012.
34. Artemyev V. B. *Technological and organizational mechanisms for effective functioning of a coal company in the course of integrated development of deposits*. Doctoral thesis in Engineering Science. M., 2004, 259 p. (in Russian).
35. Kovalenko V. S., Artemyev V. B., Opanasenko P. I., Isaichenkov A. B. *Technological schemes for excavation of permanent and working trenches at coal mines*. Moscow; 2011. 408 p. (In Russ.).
36. Vinitsky K. E., Shal' P. P. *Coal quality management at opencast mines of Ekibastuzugol'*. Overview. TsNIEIugol, Moscow; 1981. (In Russ.).

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ / ORIGINAL PAPERS

DOI: 10.17073/2500-0632-2020-2-131-153

Задачи совершенствования управления и повышения эффективности функционирования технологических блоков рудника подземного скважинного выщелачивания урана**Подрезов Д. Р.**АО «НАК «Казатомпром», уранодобывающее предприятие ТОО «Каратау»,
г. Шымкент, Республика Казахстан

Аннотация: Задачи непрерывного поиска производственных резервов, факторов повышения эффективности, оптимизации расходов на добычу и расширение минерально-сырьевой базы горнодобывающего предприятия становятся как никогда актуальными в сложившихся на сегодняшний день негативных тенденциях на мировом рынке уранового сырья. Одним из актуальных путей сохранения своих позиций для предприятия является непрерывное совершенствование подходов и методов управления технологическими показателями функционирования добычных блоков рудника и обеспечение необходимых объемов вскрытых и готовых к отработке запасов. В работе проведен теоретико-информационный анализ технологической схемы промышленной отработки запасов урана методом подземного скважинного выщелачивания. Определены регрессионные взаимосвязи основных показателей функционирования технологических циклов предприятия и формализована задача управления технологическими блоками на стадиях закисления, активного выщелачивания, доработки и вывода из эксплуатации. Полученные по результатам вскрытия рудного тела статистические характеристики ячеек технологического блока и распределения запасов урана, а также анализ динамики изменения добычи и степени извлечения по технологическому блоку, баланса производительностей технологического блока по продуктивным и выщелачивающим растворам позволили рассчитать основные геотехнологические показатели, которые легли в основу получения регрессионных взаимосвязей между степенью извлечения урана и соотношением количества поданного выщелачивающего раствора к горнорудной массе, а также для рядов динамики удельных расходов серной кислоты и электроэнергии. Этот подход позволил определить проблемные зоны и перспективные направления совершенствования процесса управления и повышения эффективности функционирования технологического полигона рудника подземного скважинного выщелачивания. Планируемые мероприятия позволят переоценить ресурсный потенциал технологического блока с одновременным обоснованным прогнозом остаточных запасов урана в эксплуатируемых и вскрываемых блоках, снизить затраты на стадии горно-подготовительных работ, при своевременном выводе из эксплуатации блоков снизить потребность в электроэнергии, оптимизировать расход серной кислоты и в целом повысить качество прогнозирования и планирования производственных показателей с целью безусловного выполнения программы добычи урана. Результаты проведенных исследований могут быть использованы для совершенствования кратко- и среднесрочного планирования технико-экономических показателей горно-подготовительных работ и добычи на основе прогноза величины рудных интервалов на обрабатываемых блоках, что способствует укреплению ресурсной базы предприятия и увеличению капитализации компании.

Ключевые слова: подземное скважинное выщелачивание, технологическая схема, повышение эффективности управления, технологический блок, ресурсный потенциал, запасы урана.

Для цитирования: Подрезов Д. Р. Задачи совершенствования управления и повышения эффективности функционирования технологических блоков рудника подземного скважинного выщелачивания урана. *Горные науки и технологии*. 2020;5(2):131-153. DOI: 10.17073/2500-0632-2020-2-131-153.



Issues of Improving Control and Increasing Efficiency of Production Blocks at an ISL Uranium Mine

D. R. Podrezov

NAC Kazatomprom JSC, uranium mining enterprise Karatau LLP, Shymkent, the Republic of Kazakhstan

Abstract: The tasks of continuous optimizing production, looking for ways of increasing performance, cutting mining costs and expanding mineral resource base of a mining enterprise are becoming more relevant than ever in conditions of the current negative trends at the world market of uranium resources. Increasing enterprise competitiveness requires permanent improvement of approaches and methods for managing performance of production blocks of a mine and ensuring the necessary volumes of reserves prepared for production. In the study, a theoretical information analysis of the process flow sheet of commercial ISL uranium production was carried out. The regression relationships between the main indicators of the production process cycles were determined, and the task of controlling production blocks at the stages of acidification, active leaching, completing operation, and decommissioning was formalized. The statistical characteristics of a production block cells and the distribution of uranium reserves, obtained based on the data of ore body drilling-in, as well as the analysis of the dynamic pattern of uranium production and recovery by production block depending on time, the balance of production block productivity by pregnant and leaching solutions enabled calculating key geotechnological indicators that formed the basis for calculating regression relationships between the uranium recovery and the ratio of the leaching solution amount to the rock mass amount, as well as for estimating specific consumption of sulfuric acid and electricity depending on operation time. This approach allowed identifying the problem areas and promising ways for improving the control procedure and performance of ISL mine wellfield operation. The planned measures will allow re-estimating resource potential of a production block while simultaneously providing a reasonable forecast of the residual uranium reserves in the being exploited and drilled-in blocks, reducing costs at the main development stage, and, by providing timely decommissioning of the blocks, reducing power consumption, optimizing sulfuric acid consumption, and overall improving quality of projecting and planning the production indicators for achieving uranium production targets. The study results can be used for improving short- and medium-term planning of technical and economic indicators of main development and production based on the forecast of ore interval sizes in production blocks that contributes to strengthening resource base and increasing capitalization of a company.

Keywords: in situ leaching, process flow sheet, improving control efficiency, production block, resource potential, uranium reserves.

For citation: Podrezov D. R. Issues of improving control and increasing efficiency of production blocks at an ISL uranium mine. *Gornye nauki i tekhnologii = Mining Science and Technology (Russia)*. 2020;5(2):131-153. (In Russ.). DOI: 10.17073/2500-0632-2020-2-131-153.

Введение

Несмотря на сложившиеся на сегодняшний день негативные тенденции мирового рынка, заключающиеся в снижении спроса и цены на уран, атомная энергетика имеет хорошее будущее и существует потенциальная возможность для производителей урана наращивать его выпуск [1, 2]. В связи со снижением мировых цен на природный уран и ухудшением рыночной ситуации для уранодобывающих предприятий все добычные компании ведут работы по оптимизации производства и сокращают расходы [3]. При этом одни компании эффективно внедряют в производство методы и модели снижения производственных затрат, как Cameco, а другие, как

Paladin Energy, ведут добычу на рудниках с низкой себестоимостью [4, 5].

Объем добычи урана в пост-фукусимском периоде, несмотря на снижение спроса, из года в год растет в основном за счет обработки запасов месторождений крупнейших уранодобывающих компаний [6, 7], что обусловлено стремлением сохранить свою долю на рынке природного урана. Такая тенденция обеспечивается в первую очередь развитой минерально-сырьевой базой месторождений. В ожидании улучшения мировой конъюнктуры уранодобывающие компании с незначительными запасами и небольшими объемами добычи вынуждены сокращать объемы своей производственной деятельности [8–11].

В связи с этим выполнение поставленных перед уранодобывающим предприятием стратегических целей, которые направлены на увеличение стоимости компании, в том числе за счет актуализации показателей минерально-сырьевой базы месторождения и повышения эффективности, качества и надежности производственно-технологической деятельности, является актуальной научно-практической задачей [12–14].

Анализ технологической схемы добычи урана

Решение данной задачи сопряжено с необходимостью обеспечения максимально

эффективного управления функционированием предприятия при проведении горно-подготовительных работ, интенсификацией процесса добычи, повышением содержания урана в продуктивном растворе и снижением уровня эксплуатационных затрат.

С этой целью на первом этапе исследований был проведен всесторонний комплексный анализ технологической схемы обработки запасов урана и выпуска готовой продукции, который позволил выделить следующие основные стадии производственных процессов (рис. 1) [15, 16].

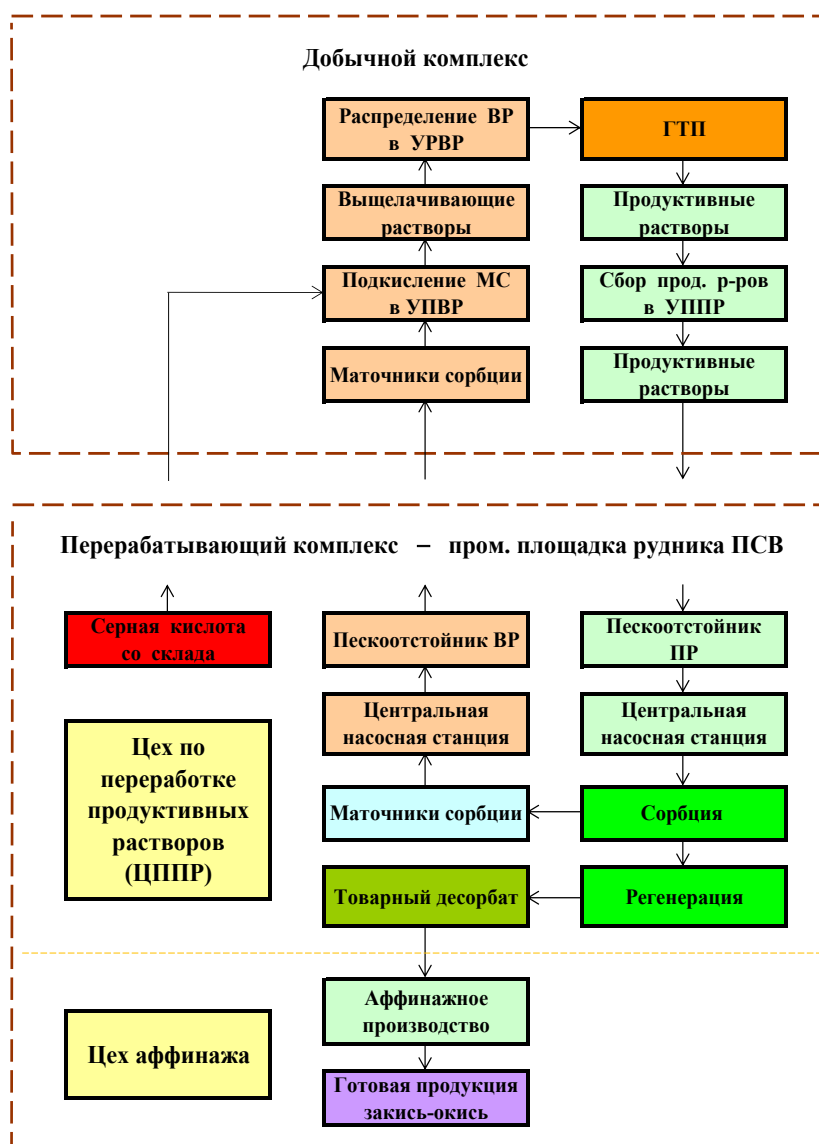


Рис. 1. Укрупненная технологическая схема промышленной отработки запасов урана

Fig. 1. Outline flow chart of commercial ISL uranium production

Процесс добыча урана на геотехнологическом полигоне состоит из следующих составляющих: подземное скважинное выщелачивание (ПСВ) урана сернокислотными растворами на геотехнологическом полигоне скважин (ГТП); насосный раствороподъем продуктивных растворов из откачных скважин; сбор продуктивных растворов в технологических узлах приема (УППР); транспортировка урансодержащих растворов по сборному коллектору в пескоотстойники продуктивных растворов (ПР) основной промышленной площадки рудника ПСВ; подкисление возвратных растворов в технологических узлах приготовления выщелачивающих растворов (УПВР) серной кислотой, подаваемой с расположенного на промышленной площадке

рудника ПСВ склада; подача рабочих (выщелачивающих) растворов в закачные скважины добычных полигонов через узлы распределения (УРВР) [17, 18].

Продуктивные растворы с добычных комплексов полигонов скважин поступают на установку цеха переработки продуктивных растворов (ЦППР) перерабатывающего комплекса – основной промышленной площадки рудника ПСВ. Основные технологические процессы переработки урансодержащих растворов в ЦППР рудника ПСВ заключаются в следующем (рис. 2): сбор и осветление продуктивных растворов в пескоотстойнике; подача ПР насосами центральной насосной станции (ЦНС).

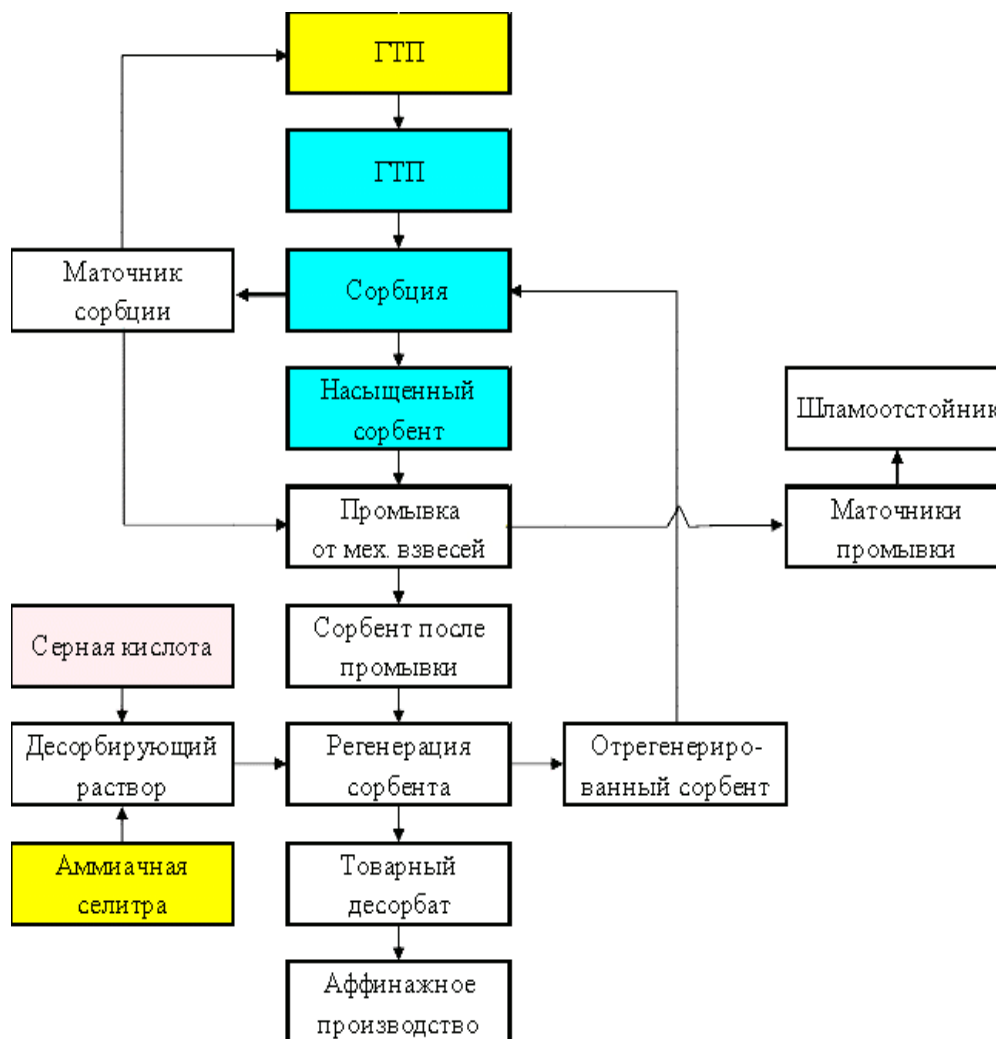


Рис. 2. Укрупненная технологическая схема переработки продуктивных растворов ПСВ урана и выпуска продукции в виде урансодержащего товарного десорбата

Fig. 2. Outline flow chart of processing of uranium ISL pregnant solutions and production of marketable uranium-containing Rich Eluate

Далее происходит регенерация насыщенной ураном ионообменной смолы: донасыщение сорбента обратными растворами в зонах донасыщения I колонн СДК-1500; донасыщение сорбента частью товарного десорбата в зонах донасыщения II колонн СДК-1500; противоточная нитратная десорбция урана со смолы в зонах десорбции колонн СДК-1500; вывод урансодержащего товарного десорбата из колонн СДК-1500 в сборную емкость; промывка отдесорбированной смолы от исходного десорбирующего раствора в зонах отмывки колонн СДК-1500; противоточная денитрация сорбента раствором серной кислоты в колоннах типа ПИК-2000; промывка отрегенированного сорбента от избыточной кислотности технической водой в отмывочной колонне типа

ПИК-2000; загрузка отрегенированного сорбента в колонны СНК-3м сорбционного отделения ЦППР; сбор товарного десорбата и направление его на дальнейшую переработку на аффинажное производство [19, 20].

Проектная производительность перерабатывающей установки ЦППР – 2 000 т урана в год в виде товарного десорбата.

Основные показатели работы цеха по переработке продуктивных растворов представлены в табл. 1.

Основные звенья технологического цикла аффинажного производства можно разделить на две стадии – очистка товарного десорбата от примесей и осаждение урана из товарного десорбата (рис. 3).

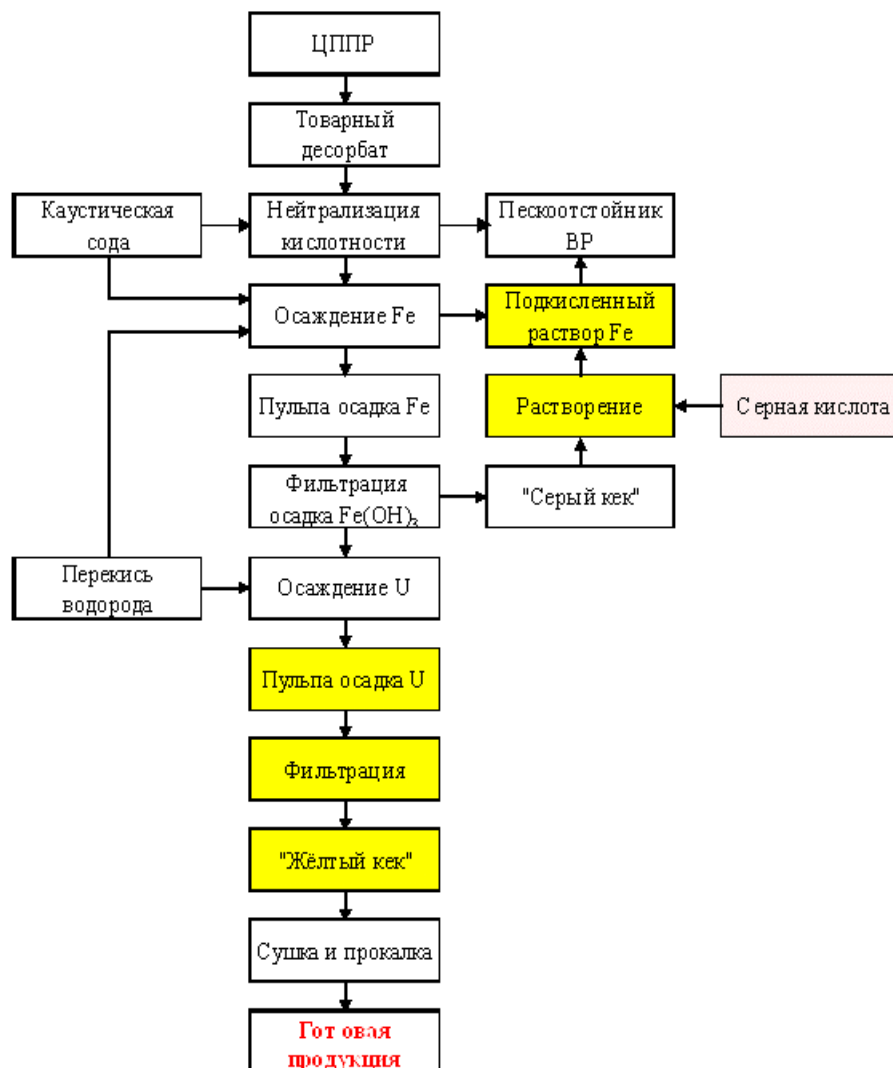


Рис. 3. Укрупненная технологическая схема аффинажной очистки товарного десорбата и выпуска готовой продукции в виде закиси-окиси природного урана

Fig. 3. Outline flow chart of refining Rich Eluate and production of marketable triuranium octoxide

Таблица 1

Основные показатели работы сорбционного отделения цеха переработки продуктивных растворов рудника подземного скважинного выщелачивания

Key performance indicators of sorption section of the area for pregnant solution processing of an ISL mine

Показатель	Величина
Объем растворов ПР, поступивших на переработку, тыс. м ³	649,1
Состав продуктивных растворов:	
среднее содержание урана в ПР, мг/л	303
pH растворов, ед. pH	2,0
Получено маточников сорбции, тыс. м ³	649,1
Получено урана в ПР, кг	197 314
Содержание урана в маточниках сорбции, мг/л	1,1
Получено урана в ВР, кг	714
Коэффициент извлечения урана из ПР, %	99,6
Получено урана в насыщенной смоле (добыча урана), кг	196 600

Очистка товарного десорбата от примесей включает окисление 2-валентного железа в 3-валентное состояние перекисью водорода; нейтрализацию избыточной кислотности товарного десорбата с осаждением железа аммиачной водой в виде гидроокиси; сгущение осадка гидроокиси железа; фильтрацию сгущенной части осадка гидроокиси железа на фильтр-прессе; растворение осадка гидроокиси железа в маточниках сорбции с добавлением серной кислоты; использование полученного сернокислого раствора железа в качестве дополнительного окислителя в процессе ПСВ урана – направление растворов на объединение с маточниками сорбции.

На стадии осаждения урана из товарного десорбата происходят следующие процессы: осаждение урана перекисью водорода с получением пероксида; корректировка величины значения pH процесса осаждения аммиачной водой; сгущение осадка пероксида урана; фильтрация сгущенной части осадка пероксида урана на фильтр-прессах; направление маточников фильтрации и промывочных вод на объединение с продуктивными растворами ПСВ урана; направление полученного осадка пероксида урана на стадию прокалики; сушка и прокалика осадка пероксида урана до закиси-окиси; затаривание готовой продукции в транспортную тару.

Проектная производительность аффинажного производства – 2000 т урана в год в виде закиси-окиси природного урана.

Управление основными видами работ на технологических блоках рудника подземного скважинного выщелачивания урана

Для эффективного применения методов системного анализа для надежной и качественной промышленной оценки урановых месторождений кроме получения непосредственно сведений о запасах необходимо провести исследования качества и состава руды, соотношения между первичными и окисленными урановыми минералами, минералогического и химического состава нерудных составляющих, количества и ценности сопутствующих компонентов в комплексных рудах как исходной совокупности базовых показателей идентификации сложных систем управления [21, 22].

Используя классификацию урановых руд по содержанию, можно заметить, что в основном преобладают бедные руды (0,01–0,10 %), реже встречаются рядовые (0,10–0,25 %) и средние (0,25–0,5 %). Урановые минералы в руде представлены легко растворимыми в сернокислотных растворах формами, к тому же локализованными среди основной массы нерастворимых и труднорастворимых минералов. Рудная минерализация, более или менее равномерно распределенная в рудах, представлена коффинитом и настураном. Как правило, урановые минералы находятся в тонкодисперсной форме и легко переходят в раствор слабоконцентрированной серной кислоты.

Используя корреляционную зависимость между гранулометрическим составом и коэффициентами фильтрации (K_f), легко заметить, что литологические разности имеют следующие усредненные фильтрационные свойства: мелкозернистый песок ($K_f = 5$ м/сут); среднезернистый песок ($K_f = 10$ м/сут); разноезернистый песок ($K_f = 19$ м/сут); разноезернистый песок с гравием ($K_f = 24$ м/сут).

Характерными особенностями технологического блока и в целом залежи месторождения являются приуроченность основных запасов урана к проницаемым породам с высокой площадной продуктивностью руд и хорошими фильтрационными свойствами; наличие напорных вод; низкая карбонатность руд и вмещающих пород; достаточно равномерное распределение уранового оруденения при однородном литологическом строении рудовмещающего горизонта [23, 24].

На технологическом блоке используется гексагональная (ячеистая) схема вскрытия, являющаяся наиболее эффективной при разработке широких рудных залежей. Она позволяет оперативно управлять процессом подземного скважинного выщелачивания, легко расширяется в любую сторону, отличается равномерностью отработки рудного горизонта, наиболее напряженным гидродинамическим режимом. Анализ результатов эксплуатации блоков с ряд-

ной и ячеистой системами расположения скважин однозначно показывает, что при гексагональной схеме отношение Ж:Т (отношение количества поданного выщелачивающего раствора к горнорудной массе) меньше, блоки обрабатываются быстрее и эффективнее, средние и максимальные содержания урана в продуктивных растворах значительно выше, а удельные расходы серной кислоты на выщелачивание ниже.

При выборе схемы вскрытия участков и блоков на этапе промышленной отработки месторождения должны учитываться морфология рудных тел в плане и разрезе – расположение рудного тела в нескольких рудных подгоризонтах и ширина геологических блоков; литолого-фильтрационные свойства залежи; гидродинамический режим откачки-закачки технологических растворов.

Основные геотехнологические параметры и прогнозные показатели функционирования блока рудника подземного скважинного выщелачивания представлены в табл. 2.

С учетом геолого-гидрогеологических условий рудовмещающего горизонта, плотности пород, коэффициента эффективной пористости, показателя скин-эффекта для расчета функционирования откачных скважин принимается дебит – 10 м³/ч, а приемистость закачных скважин составит около 2,2 м³/ч (табл. 3) [25–27].

Таблица 2

Геотехнологические параметры блока рудника ПСВ

Geotechnological parameters of an ISL mine block

Средняя продуктивность рудного тела (m_v), кг/м ²	Средняя рудная мощность (m), м	Среднее содержание урана в руде (C), %	Продуктивность в метрпроценте (mc), м%	Эффективная мощность закисляемого продуктивного горизонта (M_s), м	Коэффициент фильтрации растворов в рудной части горизонта (K_f), м/сут
14,9	11,28	0,077	0,8686	13,6	7,0

Таблица 3

Геолого-гидрологические условия отработки технологического блока рудника ПСВ

Geological and hydrological conditions for extraction of an ISL mine block

Плотность пород рудного горизонта (ρ_p), кг/м ³	Коэффициент эффективной пористости (K_p)	Компрессия на закачных скважинах (S_n), м вод. ст.	Депрессия на откачных скважинах (S_o), м вод. ст.	Показатель скин-эффекта (S_k)	Коэффициент извлечения ($K_{извл}$)
1,7	0,22	65	10	2,05	0,90

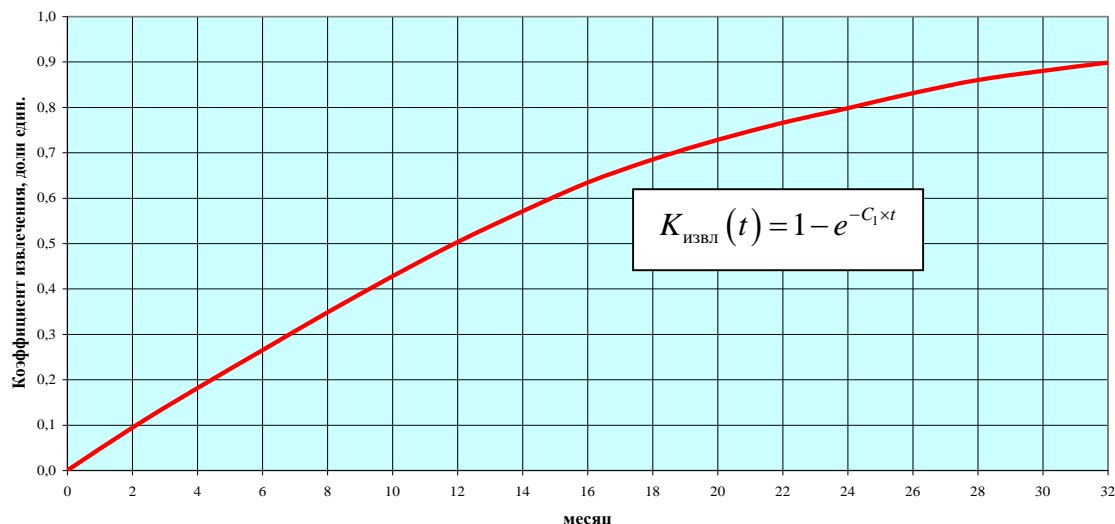


Рис. 4. Динамика изменения степени извлечения урана из недр
($C_1 = 1,4$ – параметр, определяющий кинетику процесса выщелачивания урана в ячейке)

Fig. 4. Dynamics of uranium reserve recovery
($C_1 = 1.4$ is a parameter that determines uranium leaching kinetics in a cell)

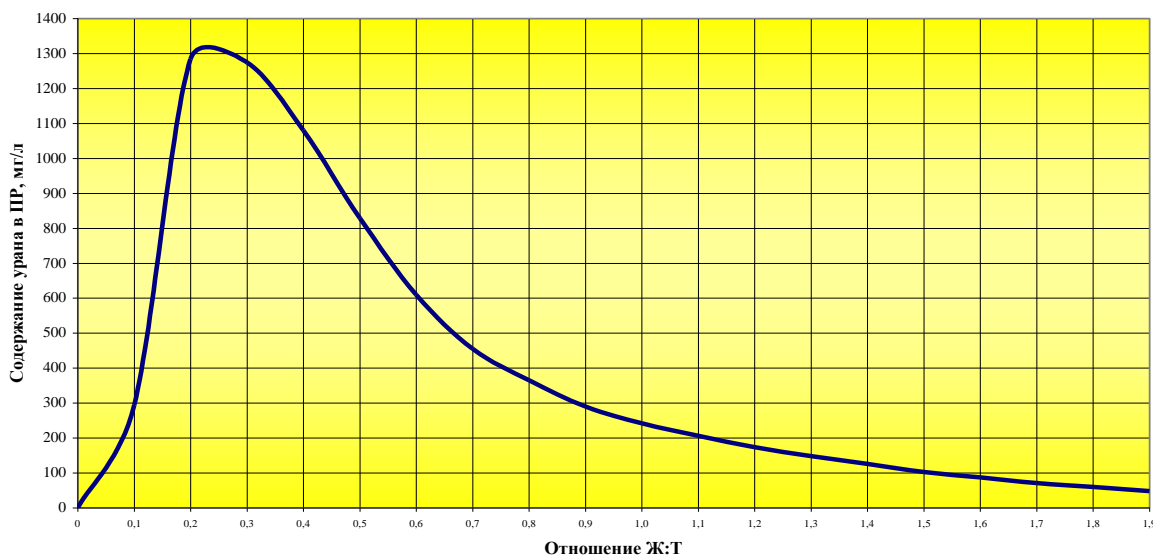


Рис. 5. Изменение содержания урана в продуктивном растворе от отношения Ж:Т
($C_1^1 = 4,95$ – параметр, определяющий скорость изменения концентрации урана в растворе)

Fig. 5. Uranium content in pregnant solution as a function of the Liquid : Solid ratio
($C_1^1 = 4.95$ – a parameter that determines the rate of changing uranium concentration in the solution)

Анализ динамики степени извлечения урана из недр при отработке месторождения позволил получить экспоненциальную тенденцию изменения данного показателя во времени (рис. 4) [28].

С использованием значения параметра, определяющего скорость изменения концентрации урана в растворе, была получена взаимосвязь содержания урана в продуктивном

растворе с соотношением Ж:Т (рис. 5). Полученные зависимости являются одними из основных соотношений базовых показателей процесса подземного скважинного выщелачивания.

Данные взаимосвязи легли в основу расчета основных прогнозных показателей работы технологического блока (табл. 4) и позволили рассчитать основные показатели и параметры его отработки (табл. 5) [29].

Таблица 4

Основные прогнозные показатели работы технологического блока рудника ПСВ
The main performance targets of an ISL mine production block

Ж:Т, м ³ /т	Время закисления ($T_{\text{закисл}}$), дней	Время выщелачивания ($T_{\text{выщ}}$), лет	Максимальное содержание урана (C_{max}), мг/л	Среднее содержание урана ($C_{\text{сред}}$), мг/л	Удельный расход кислоты на период активного выщелачивания ($C_{\text{уд.акт.выщ}}^1$), кг/кг
1,9	62	2,6	1320	295	33,5

Таблица 5

Основные расчетные показатели функционирования технологического блока рудника ПСВ
The main estimate indicator of an ISL mine production block

Наименование показателя	Значение показателя
Характеристика опытного блока	
Площадь опытного блока, тыс. м ²	25,3
Средняя продуктивность, кг/м ²	14,9
Геологические запасы, т	343
Схема расположения скважин	Гексагональная
Радиус гексагональной ячейки, м	2 по 45 2 по 50
Общее количество скважин, шт.:	24
откачных	4
закачных	18
наблюдательных	2
Отношение количества закачных скважин к откачным	4,5
2. Показатели эксплуатация технологического блока	
Дебит откачных скважин, м ³ /ч	10
Приемистость закачных скважин, м ³ /ч	≈ 2,5
Давление на устье закачной скважины, МПа	> 6,0
Отношение Ж:Т, м ³ /т	1,9
Горнорудная масса, тыс. т	633
Объем технологических растворов, тыс. м ³	1202,7
Производительность опытного блока, м ³ /ч	40
Время закисления, дней	62
Время отработки, лет	2,6
Объем растворов на закислении, тыс. м ³	59,5
Объем растворов на выщелачивании, тыс. м ³	1143,2
Среднее содержание урана в продуктивных растворах, мг/л	295
рН продуктивных растворов, ед. рН	1,8–2,1
Кислотность выщелачивающих растворов, г/л:	
в период закисления	15–17
в период активного выщелачивания	5–7
в период доработки	1–2
Удельный расход кислоты, кг/кг:	
в период активного выщелачивания	35,5
за весь период отработки	51,5
3. Параметры отработки технологического блока	
Геологические запасы, т	343
Извлекаемые запасы, т	308,7
Потери, т	34,3
Степень извлечения урана из недр, %	90

Процесс управления непосредственно работами технологического блока на руднике ПСВ подразделяется на несколько стадий: управление на стадии закисления; управление стадией активного выщелачивания; управление на стадии доработки и вывода блока из эксплуатации [30–32].

Выделение этих стадий носит несколько условный характер, тем не менее они обусловлены конкретными изменениями геотехнологических параметров и режимов, связанных в основном с подачей основного выщелачивающего реагента – серной кислоты.

Закисление – это непрерывный во времени технологический процесс, направленный на формирование в рудовмещающем водоносном горизонте геохимической обстановки, обеспечивающей перевод урана в раствор и обогащение им продуцирующих растворов, создание закачкой и откачкой технологических растворов гидродинамических условий интенсивного массопереноса. С учетом морфологических параметров рудных тел, вещественного состава руд и вмещающих пород, водно-физических характеристик продуктивного водоносного горизонта оптимальными приняты закисляющие растворы с содержанием серной кислоты порядка 15–17 г/л. При закислении подача растворов в закачные скважины производится одновременно с непрерывной откачкой пластовых вод из откачных скважин с соблюдением общего по блоку баланса растворов.

Период отработки участков (блоков) подразделяется на две стадии: активное выщелачивание и довыщелачивание запасов урана.

Стадия активного выщелачивания характеризуется интенсивным переходом урана в обогащающийся и продуцирующий раствор, а также переносом его к откачным скважинам. Выщелачивание урана осуществляется маточниками сорбции, доукрепляемыми серной кислотой до заданной концентрации. Как в период закисления, так и на стадии активного выщелачивания, необходимо соблюдать гидродинами-

ческое равновесие (баланс объемов закачиваемых и откачиваемых растворов) как по отдельным блокам, так и по участкам в целом. При соблюдении указанного условия система скважин блоков (участков) работает в стационарном режиме фильтрации, чем обеспечиваются локализация зоны циркуляции растворов в плане и разрезе рудовмещающего горизонта, минимальное разубоживание продуктивных растворов и управляемость процесса в целом.

Доработка (довыщелачивание) эксплуатационного блока (участка) – процесс завершающей стадии отработки запасов урана блока (участка), характеризующийся, как правило, устойчивым снижением содержания урана в продуктивных растворах при увеличении извлечения запасов урана из недр от уровня 60–70 % до планового 90 %. На этой стадии концентрация рабочих растворов по кислоте должна неуклонно снижаться независимо от карбонатности руд и вмещающих пород от 5–3 г/л до кислотности маточников. Маточными растворами завершается отработка блока (участка), достигаемая при этом цель – разбавление в рудоносном горизонте растворов с повышенной кислотностью.

Отработку блока (участка) можно считать завершенной при необратимом снижении содержания урана в продуктивных растворах до уровня ниже минимального промышленного – 30 мг/л.

Для наблюдения за технологическими параметрами процессов закисления и выщелачивания, получения информации о формировании структуры фильтрационного потока в разрезе, изучения динамики закисления и выщелачивания урана из руды между закачными скважинами гексагональной сети, а также контроля за контуром растекания выщелачивающих растворов в плане и разрезе на технологическом полигоне предусмотрены наблюдательные скважины, которые с учетом отсутствия повсеместно развитого нижнего водоупора и возможности не только горизонтального, но и верти-

кального растекания технологических растворов сооружаются несколько ниже рудного горизонта.

Управление режимно-балансовыми наблюдениями и опробованием находящихся в работе технологических скважин проводится с целью контроля содержания урана в растворах, наблюдения за ходом ПСВ и химизмом выщелачивания урана.

Процесс опробования делится на ряд этапов, различающихся по совокупности решаемых задач, видам и методикам выполнения: опробование скважин в период подготовки запасов к отработке; опробование в процессе проведения опытных работ; опробование скважин после завершения процесса ПСВ.

По результатам наблюдений и анализа объемов технологических растворов и их опробования осуществляются расчет и мониторинг

добычи урана и затрат выщелачивающего реагента (серной кислоты), а также оперативный контроль баланса между объемами откачных и закачных растворов по ячейкам технологического блока в целом, являющийся обязательным условием нормального ведения процесса ПСВ и охраны окружающей среды.

На последнем этапе – после завершения процесса ПСВ, выполняется опробование скважин контрольного бурения с целью определения полноты извлечения урана. За проведенным анализом расположения подгоризонтов рудных тел и интервалов посадки фильтров обсадных колонн технологических (откачных и закачных) и наблюдательных скважин следует расчет показателей вскрытия рудного тела и соответственно вскрытых запасов. Основные параметры ячеек технологического блока в целом и распределение запасов урана в них приведены в табл. 6.

Таблица 6

Характеристика ячеек технологического блока и распределение запасов урана в них по результатам вскрытия рудного тела

Characteristics of an ISL mine production block cells and distribution of uranium reserves in them based on the findings of an ore body drilling-in

Номер ячейки	Номер откачной скважины	Площадь блока (S), тыс. м ²	Средняя продуктивность рудного тела (m _U), кг/м ²	Запасы урана (P _U), т	Горнорудная масса (ГРМ), тыс. т
1	0-2-1	6,83	20,33	137,1	164,6
2	0-2-2	5,33	16,08	86,2	111,2
3	0-2-3	5,09	9,85	52,1	92,7
4	0-2-4	6,50	13,68	87,6	173,5
По технологическому блоку		23,73	23,75	363,0	542,0

На следующем этапе необходимо формализовать задачу управления основными показателями извлечения урана из недр, при этом степень извлечения определяется как разница запасов до проведения опыта (подсчет проводится по гамма-каротажу по всем скважинам, входящим в геометрический контур) и после завершения результатов опробования керн контрольных скважин. Оценка степени извлечения урана по контрольным скважинам основывается на сопоставлении результатов кернового опробования и приведенного рудного интервала по гамма-аномалии

через содержание радия. В понятие приведенного рудного интервала (РИ) по контрольной скважине вложено эквивалентное сохранение соотношения концентрации радия до опыта и после процесса выщелачивания [33, 34].

Результаты промышленных испытаний функционирования технологического блока рудника подземного скважинного выщелачивания

Проведенный анализ определения фактически закисленной горнорудной массы, произведенный по скважинам с учетом всех видов лабораторных исследований на базе результатов

индукционного каротажа, позволил определить следующие соотношения.

Средняя мощность фактически закисленных пород на геотехнологическом блоке составила 13,26 м при средней длине фильтров 10,3 м. Нижняя граница распространения выщелачивающих растворов ограничивается локальными водоупорами продуктивного горизонта. Верхняя граница расположена в отдельных скважинах выше фильтров на 5–6 м, что определяется прежде всего взаимным расположением фильтров технологических скважин. Площадь ячейки в геометрическом контуре: 23 753 м². Объем закисленной горнорудной массы: 23 753 × 13,26 = 314 964,8 м³. Закисленная горнорудная масса: 314 964,8 × 1,70 = 535 440 т.

Дебиты откачных скважин и приемистость закачных, а также производительность технологического блока в целом по откачным и закачным растворам за весь период эксплуатации были достаточно стабильны [35, 36].

Наличие расходомеров и регулирующей запорной арматуры на всех откачных скважинах в технологических узлах приема продуктивных растворов (УППР) и закачных в узлах распределения выщелачивающих растворов (УРВР) технологического блока позволяло своевременно

принимать меры по повышению эффективности, надежности и изменению режима работы всей скважинной системы для контроля баланса откачных и закачных растворов.

Таким образом, в результате проведенного анализа показателей функционирования технологического полигона установлено, что всего за расчетный период поднято на поверхность 714,7 тыс. м³ и подано в недра 709,8 тыс. м³ растворов; средняя производительность блока по откачным растворам составила 60,2 м³/ч, по закачным – 59,8 м³/ч; средний дебит откачных скважин – 15,1 м³/ч; средняя приемистость закачных скважин – 3,3 м³/ч. В целом средняя за отчетный период приемистость закачных скважин колебалась в достаточно широком интервале – от 1,5 до 6,4 м³/ч. Работоспособность скважин поддерживалась проведением эрлифтной прокачки нагнетаемым на глубину 60–90 м сжатым воздухом.

Баланс продуктивных и выщелачивающих растворов по ячейкам, на которых выводились для проведения РВР закачные скважины, поддерживался перераспределением объемов подачи растворов в смежные с ними скважины [37, 38].

Баланс продуктивных и выщелачивающих растворов по технологическому блоку приведен на рис. 6.

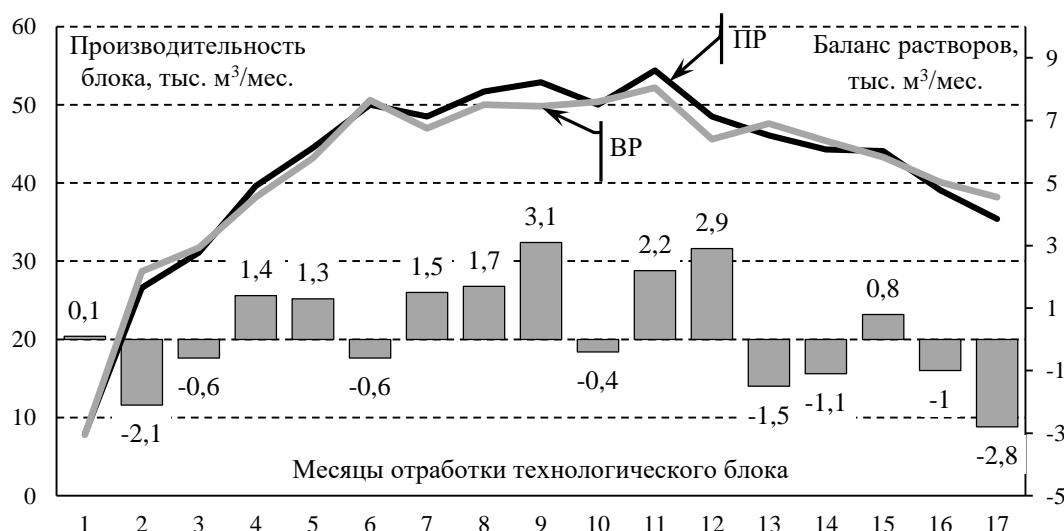


Рис. 6. Динамика баланса производительностей технологического блока по продуктивным (ПР) и выщелачивающим растворам (ВР) (Баланс растворов = ПР–ВР, тыс. м³/мес.)

Fig. 6. Balance of productivity of a production block by pregnant solutions (PS) and leaching solutions (LS) (Balance of the solutions = PS – LS, thous. m³/month)

Анализ данных показал, что подъем продуктивных растворов несколько превысил закачку в недра выщелачивающих – на 0,69 %. Связано это в первую очередь с тем, что статический уровень подземных вод составляет плюс 20 м и более от поверхности земли, т.е. самоизливом скважин и естественной подтяжкой пластовых вод, что, в свою очередь, привело к некоторому разубоживанию продуктивных растворов.

Дебаланс откачиваемых и закачиваемых в недра растворов в сторону раствороподъема в процессе переработки продуктивных растворов ликвидировался за счет их испарения в пескоотстойниках ПР и ВР (за год с зеркала бассейна (пескоотстойника) испаряется около 1400 мм воды).

Управление основными показателями функционирования технологического блока на стадии закисления направлено на формирование в непрерывном во времени технологическим процессе в рудовмещающем водоносном горизонте геохимической обстановки, обеспечивающей перевод урана в раствор и обогащение им продуцируемых растворов, создание балансом откачки и закачки гидродинамических условий для интенсивного массопереноса.

Перед запуском технологического блока в режим закисления была проведена прокачка всех технологических скважин в течение 24 ч до достижения проектной производительности. Фактические дебиты составили 20–25 м³/ч. При окончании прокачки были отобраны пробы на определение содержания урана и pH пластовой воды. Средние значения по технологическому блоку составили: $C_U < 1,0$ мг/л; pH = 6,7 ед.

Для создания благоприятной гидродинамической обстановки в рудном горизонте до подачи кислоты в течение 7 дней проведена проработка рудного тела пластовой водой по замкнутому циклу с непрерывным раствороподъемом из откачных скважин и подачей вод в закачные.

На этом этапе определен дебит откачных скважин (порядка 15 м³/ч) и приемистость закачных (около 4,5–5,0 м³/ч), установлен баланс работы скважин по растворам. В соответствии с

гидрогеологическими расчетами напорный градиент составил 1,1–1,2.

После проведения вышеуказанного перечня работ было начато закисление опытного участка. С учетом морфологических параметров рудных тел, показателей и параметров вещественного состава руд и вмещающих пород, водно-физических характеристик продуктивного водоносного горизонта оптимальными были приняты закисляющие растворы с содержанием 16–20 г/л серной кислоты.

При закислении подача растворов в закачные скважины производилась одновременно с непрерывной откачкой пластовых вод из откачных скважин с соблюдением общего технологического баланса, т.е. закисление проводилось в активном режиме. В течение 10 дней кислотность рабочих (закисляющих) растворов поэтапно поднималась с 5 до 20 г/л, далее стабилизировалась на уровне 17–19 г/л. Концентрация закисляющего реагента регулировалась в зависимости от скорости снижения значений pH в откачных растворах по сборному коллектору. При достижении величины pH, равной 3,0–3,5, концентрация кислоты в закисляющих растворах плавно уменьшалась до 15–12 г/л с последующим снижением до 10–9 г/л при pH = 2,5 ед. Календарное время стадии закисления составило 65 дней. Скорость движения кислотного фронта достигала 0,7–0,8 м/сут и была равномерной во времени для ячеек опытного участка. Отношение Ж:Т на стадии закисления составило 0,122. Кроме того, необходимо также отметить, что нет однозначного определения термина «окончание стадии закисления». Концом стадии закисления можно считать появление в растворах минимально рентабельного содержания урана, индивидуального для каждого из обрабатываемых месторождений, не ориентируясь на значение pH продуктивных растворов. В этом случае длительность закисления уменьшается в 1,5–2,0 раза, соответственно снижается расход закисляющего реагента, в положительную сторону изменяются экономические показатели.

Таким образом, в результате проведенного расчета и анализа удалось получить следующие

соотношения. За весь период закисления: поднято на поверхность – 65,6 тыс. м³ растворов; средняя производительность технологического блока по откачным растворам составила 44,5 м³/ч; средний дебит откачных скважин – 11,1 м³/ч; в недра закачено 68,2 тыс. м³ растворов; средняя производительность по закачным растворам составила 45,7 м³/ч; средняя приемистость закачных скважин – 2,5 м³/ч. Учет расхода серной кислоты велся по результатам анализов проб закисляющего раствора и его объемам, поданным в рудный горизонт по каждой ячейке технологического блока.

Управление основными показателями функционирования технологического блока на стадии выщелачивания заключалось в следующем. Продуктивные растворы со средним содержанием урана порядка 240 мг/л и величиной рН на уровне 2,5 ед. подаются на сорбционное извлечение урана в сорбционную колонну СНК-3м – установку по переработке продуктивных растворов. На этой стадии блок переводится в режим активного выщелачивания. Эта стадия характеризуется интенсивным переходом урана в продуктивный раствор и переносом его к откачным скважинам. Работа скважинной системы в стационарном режиме фильтрации обеспечивалась локализацией зоны циркуляции продуктивных растворов в плане и разрезе рудовмещающего горизонта для обеспечения минимального разубоживания растворов. Концентрация выщелачивающего реагента на данном этапе обработки регулировалась согласно значениям рН откачиваемых растворов и поддерживалась на уровне 8 г/л.

На основании данных входных параметров обработаны и рассчитаны основные геотехнологические показатели работы блока на данной стадии. Период выщелачивания составил 14 мес. Всего за период выщелачивания поднято на поверхность 649,1 тыс. м³ растворов; средняя производительность блока по откачным растворам составила 63,6 м³/ч; средний дебит откачных скважин – 15,9 м³/ч; в недра закачено 641,6 тыс. м³ растворов; средняя производительность блока по

закачным растворам составила 62,8 м³/ч; средняя приемистость закачных скважин – 3,5 м³/ч.

Динамика объемов добычи урана по блоку в целом, а также изменения степени извлечения по месяцам и с начала работ представлены на рис. 7.

При определении степени извлечения урана принимались запасы, пересчитанные по результатам контрольного бурения скважин.

Таким образом, в результате проведенных расчетов в целом по технологическому блоку были получены следующие показатели. Общая добыча урана составила 196,3 т, степень извлечения – 49,5 %, это с высокой степенью достоверности совпадает с расчетными проектными показателями. Отмеченные ранее особенности выщелачивания урана на технологическом блоке объясняются высокими содержаниями урана в руде и большой удельной продуктивностью, равной 16,68 кг/м².

Такая достаточно эффективная работа технологического блока связана с формой нахождения урана в руде, которая отличается не только составом урановых минералов, но и характером их распределения – подавляющая часть урана в рудах технологического блока находится в легкоизвлекаемой форме в рыхлом, проницаемом, дезинтегрируемом поровом заполнителе песчаных и песчано-гравийных пород, концентрируется в виде псевдоморфоз по обугленному растительному детриту, в кавернах, микротрещинах и микропорах песчаных и гравийных зерен и галек. Поэтому в первую очередь выщелачиванию подвергаются легкорастворимые минералы из пород с повышенной проницаемостью. Затем в процесс включаются трудновскрываемые минералы с высокими содержаниями урана, где урановые минералы представлены микроглобулями и веретеновидными образованиями, которые в результате перекристаллизации вещества образуют почковидные сферокристаллические агрегаты. На растворение этих минералов необходимо дополнительное время и требуются более высокие концентрации выщелачивающего реагента.

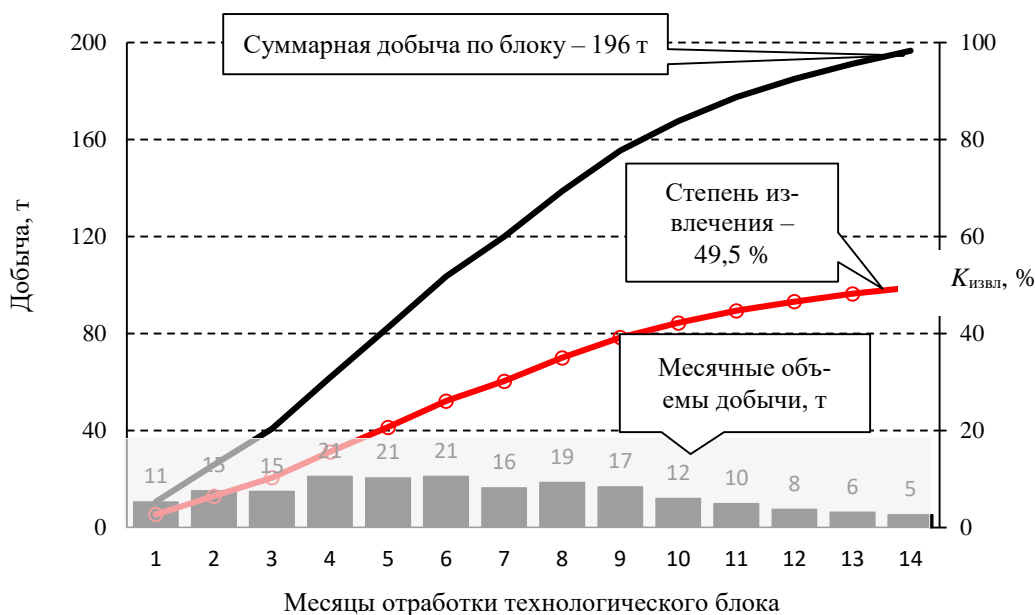


Рис. 7. Динамика изменения добычи и степени извлечения по технологическому блоку

Fig. 7. Production performance and recovery by production block – dynamic pattern as a function of time

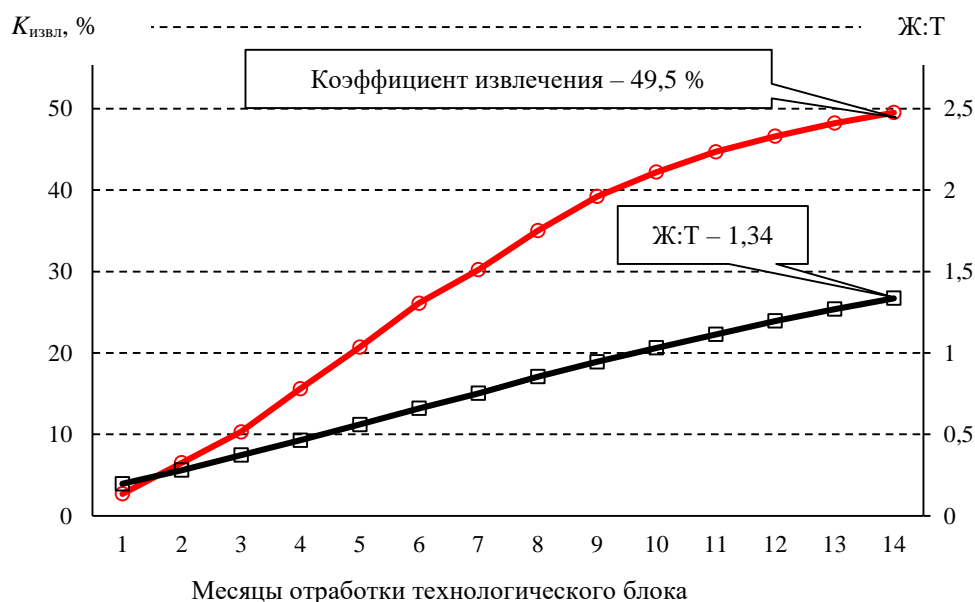


Рис. 8. Динамика изменения степени извлечения урана из недр и отношения Ж:Т в технологическом блоке

Fig. 8. Uranium recovery from reserves and Liquid : Solid ratio in a production block depending on time

На основании анализа и обработки результатов контрольного бурения скважин и проведения вскрышных работ определены фактические отношения Ж:Т на ячейках технологического блока. Расчеты отношения Ж:Т выполнены с учетом фактического объема закисленной горнорудной массы, пересчитанной по результатам бурения контрольных скважин, дебитов откачных, приемистости за-

качных скважин и производительности технологического блока по продуктивным и выщелачивающим растворам в целом. В целом по технологическому блоку отношение Ж:Т составило 1,34, это выше проектного показателя на 61,4 %, что объясняется более высокими фактическими средними дебитами откачных скважин по сравнению с проектными, равными 15,1 и 10,0 м³/ч соответственно, а также фактически закисленной горнорудной массой,

которая несколько меньше расчетной – 535,4 против 542 т.

После обработки результатов контрольного бурения скважин и проведения комплексных работ определены фактические степени извлечения урана из недр на ячейках и технологическом блоке. Расчеты выполнены с учетом фактического состояния запасов на начало работ в технологическом блоке; фактического объема закисленной горнорудной массы, также как и запасов, пересчитанных по результатам контрольного бурения скважин; дебитов откачных, приемистости закачных скважин и производительности блока в целом; времени закисления; содержаний урана в продуктивных растворах откачных скважин и блока в целом; времени стадии выщелачивания. За 14 мес. работы блока извлечено 49,5 % (рис. 8).

Степень извлечения урана из недр достаточно неравномерна, при этом возможно построить корреляционную зависимость от отношения Ж:Т (рис. 9). По данной зависимости 90 % степени извлечения урана из недр достигается при отношении Ж:Т, близком к значениям 2,5–3,5. Время выщелачивания до достижения 85 % извлечения урана из недр колеблется от 2,0 до 6,2 года.

Принципы управления показателями расхода серной кислоты на выщелачивание определялись исходя из кислотности выщелачивающих растворов, их расхода по закачным скважинам каждой ячейки и в целом по технологическому блоку. Общий расход серной кислоты (100 %) и удельный расход серной кислоты на выщелачивание определен на основании ее расхода и попутной добычи урана (рис. 10).

Средний удельный расход серной кислоты на выщелачивание за отчетный период составил 25,4 кг/кгU. Удельные расходы серной кислоты на закисление составляют 1,5–3,2 кг/т ГРМ; на выщелачивание – 20–68 кг/кгU.

Колебания в удельных расходах серной кислоты по отдельным ячейкам и в целом по технологическому блоку в течение отчетного периода связаны в первую очередь с различными содержаниями урана в продуктивных растворах за каждый конкретный месяц работы блока при практически неизменной концентрации кислоты в выщелачивающих растворах.

Фактический удельный расход электроэнергии на раствороподъем определен на основании показаний счетчиков и объемов поднятых на поверхность растворов. Удельные расходы электроэнергии на 1 м³ поднятых растворов (рис. 11) зависят в основном от технического состояния откачной скважины – ее дебита.

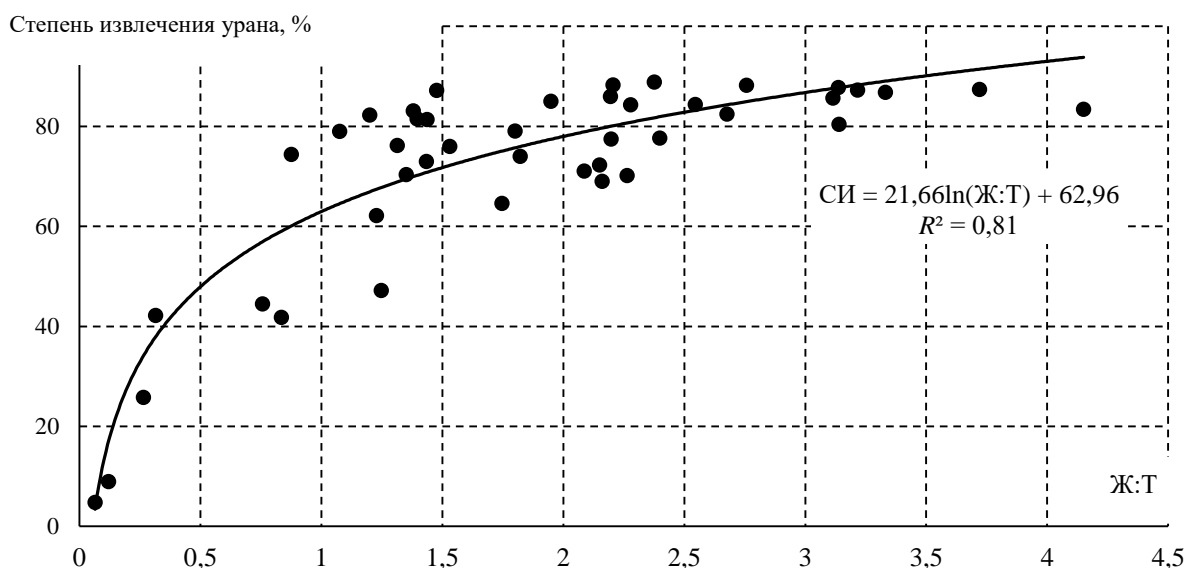


Рис. 9. Изменение степени извлечения урана (СИ), %, из недр от отношения Ж:Т

Fig. 9. Uranium recovery from reserves (UR, %) as a function of Liquid : Solid ratio in a production block

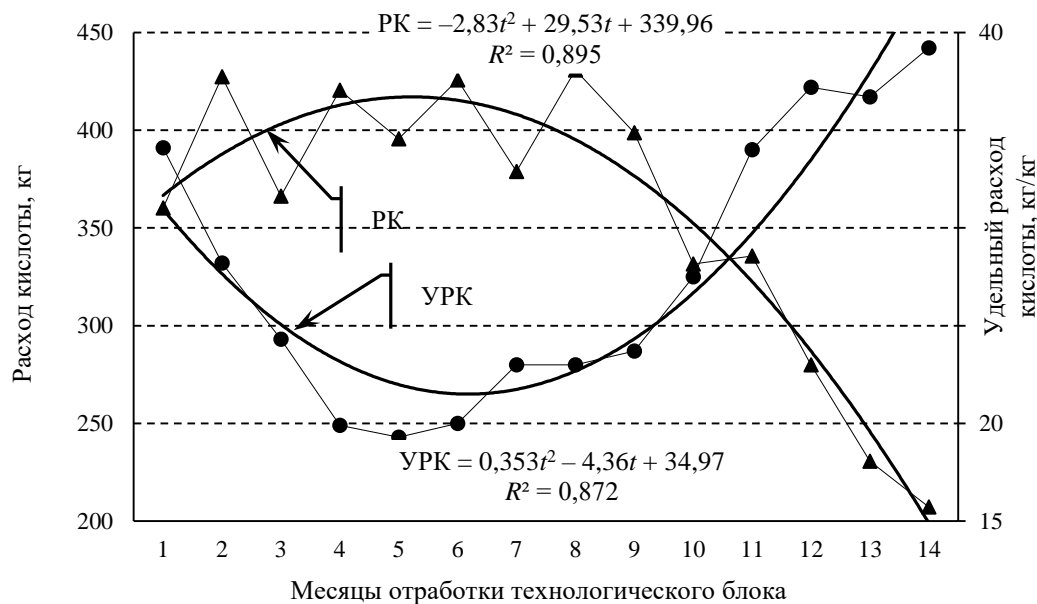


Рис. 10. Динамика расхода (PK), кг, и удельного расхода (YPK), кг H_2SO_4/kgU , серной кислоты (100 %) на выщелачивание по технологическому блоку за время отработки

Fig. 10. Sulfuric acid (100%) consumption (SAC), kg, and specific consumption (SASC), kg $H_2SO_4/kg U$ for leaching in a production block depending on operation time

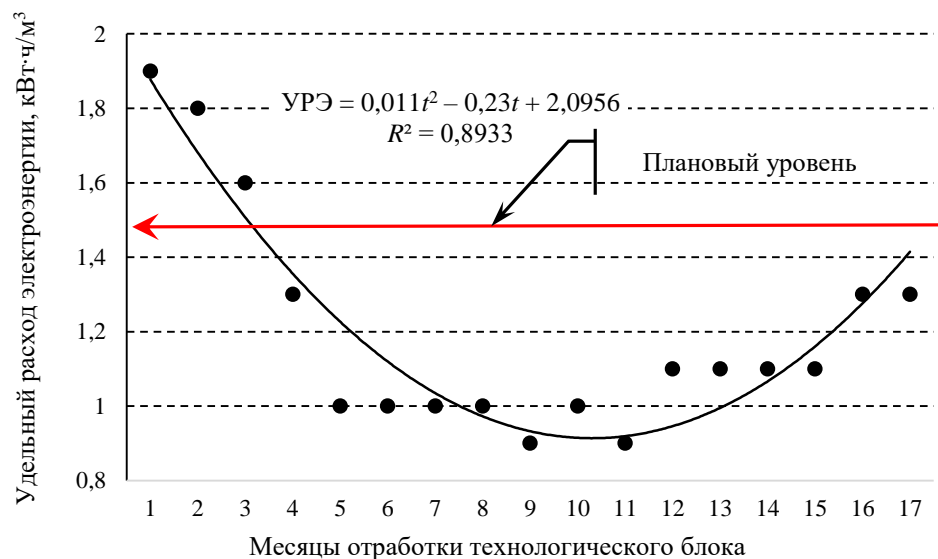


Рис. 11. Динамика удельного расхода электроэнергии (YPE), кВт·ч/м³, на раствороподъеме

Fig. 11. Specific power consumption (SPC), kW·h/m³ for pregnant solution pumping out as a function of operation time

Таблица 7

Основные геотехнологические показатели работы блока**The main geotechnological indicators of a block operation**

Наименование показателя	Значение показателя
Общая характеристика технологического блока	
Площадь, тыс. м ²	23,75
Средняя продуктивность, кг/м ²	16,68
Геологические запасы, т	397
Горнорудная масса, тыс. т	535,4
Схема расположения скважин	Гексагональная
Количество технологических скважин, шт.:	24
откачных	4
закачных	18
наблюдательных	2
Показатели стадии закисления технологического блока	
Режим закисления	Активный
Кислотность рабочих растворов, г/л	17–20
Дебит откачных скважин, м ³ /ч	≈ 11,1
Приемистость закачных скважин, м ³ /ч	≈ 2,5
Давление на устье закачной скважины, МПа	> 6,0
Время закисления, дней	65
Объем оборотных растворов – ПР (ВР), тыс. м ³	65,6 (68,2)
Характеристика продуктивных растворов на окончание стадии закисления:	
содержание урана, мг/л;	230
рН, ед. рН;	2,5
еН, мВ	245
Отношение Ж:Т при закислении, м ³ /т	0,122
Расход серной кислоты (100 %), т	1 002
Удельный расход кислоты (100 %), кг/т ГРМ	1,9
Показатели стадии выщелачивания технологического блока	
Время выщелачивания, мес.	14
Дебит откачных скважин, м ³ /ч	15,9
Приемистость закачных скважин, м ³ /ч	3,5
Давление на устье закачной скважины, МПа	> 6,0
Объем продуктивных растворов, тыс. м ³	649,1
Среднее содержание урана в продуктивных растворах, мг/л	303
рН продуктивных растворов, ед. рН	2,0
Количество урана в продуктивных растворах, т	197,306
Объем выщелачивающих растворов, тыс. м ³	641,6
Среднее содержание урана в выщелачивающих растворах, мг/л	1,1
Средняя кислотность выщелачивающих растворов, г/л	7,8
Количество урана в выщелачивающих растворах, т	0,706
Добыча урана, т	196,3
Степень извлечения урана из недр, %	49,5
Отношение Ж:Т при выщелачивании (с начала опыта), м ³ /т	1,34
Расход серной кислоты (100 %), т	4 989
Удельный расход кислоты (100 %), кг/кг	25,4

Таким образом, в результате исследований получены основные показатели проведенных в отчетный период работ по подземному скважинному выщелачиванию урана серно-кислотными растворами с подсчетом геологических запасов (табл. 7).

Выводы

Результаты выполненного анализа позволяют сделать следующие основные выводы.

1. Проведен анализ технологической схемы промышленной отработки запасов урана методом подземного скважинного выщелачивания. Определены структуры взаимосвязей основных показателей функционирования технологических циклов предприятия и формализована задача управления технологическими блоками на стадиях закисления, активного выщелачивания, доработки и вывода из эксплуатации.

2. Полученные по результатам вскрытия рудного тела статистические характеристики ячеек технологического блока и распределения запасов урана, а также анализ динамики изменения добычи и степени извлечения по технологическому блоку, баланса производительностей технологического блока по продуктивным и выщелачивающим растворам

позволили рассчитать основные геотехнологические показатели. Полученные значения легли в основу формирования регрессионных взаимосвязей между степенью извлечения урана и соотношением Ж:Т, а также для рядов динамики удельных расходов серной кислоты и электроэнергии, что позволило определить проблемные зоны и перспективные направления совершенствования процесса управления и повышения эффективности функционирования технологического полигона рудника подземного скважинного выщелачивания.

3. Полученные взаимосвязи и основные геотехнологические показатели позволили с высокой степенью вероятности прогнозировать дальнейшую эффективную отработку месторождения. По полученным данным результатов промышленной отработки запасов урана на технологических блоках процессы ПСВ можно охарактеризовать как достаточно интенсивные, а результаты эксплуатации рудных тел следует признать весьма эффективными и привлекательными как с технологической стороны, так и с экономической точки зрения, что существенно расширяет минерально-сырьевую базу отрасли.

Библиографический список

1. U₃O₈ Production Review. *Ux Weekly*. 2010;22(10). March 10.
2. Woods P., Pool T., Beneš V., Gorbatenko O., Jones B., Märten H., Solodov I., Slezak J. International overview of ISL uranium mining operations. In: *International Symposium on Uranium Raw Material for the Nuclear Fuel Cycle: Exploration, Mining, Production, Supply and Demand, Economics and Environmental Issues (URAM-2014)*. 23–27 June 2014. Vienna: International Atomic Energy Agency; 2014. P. 138.
3. Назарова З. М., Овсейчук В. А., Лемента О. Ю. Рынок урана: современное состояние, проблемы и перспективы его развития. *Проблемы современной экономики*. 2016;(2):159–162.
4. Святецкий В. С., Солодов И. Н. Стратегия технологического развития уранодобывающей отрасли России. *Горный журнал*. 2015;(7):68–77. DOI: 10.17580/gzh.2015.07.10.
5. Derek M. Insight: Uranium is in a holding pattern. *Commodity Insights Bulletin*; 2015. 8 p.
6. Arnold N., Gufler K. The future of Nuclear Fuel Supply. In: *Proceedings of the 1st INRAG Conference on Nuclear Risk*. 16–17 April 2015. Vienna: University of Natural Resources and Life Sciences in Vienna; 2015. P. 1–27.
7. *The Global Nuclear Fuel Market. Supply and Demand 2011–2030*. WNA report; 2011. 236 p.
8. Голик В. И., Култышев В. И. История и перспективы выщелачивания урана. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2011;(7):138–143.
9. Постановление Правительства Республики Казахстан от 20.08.2002 № 926 «О концепции развития урановой промышленности и атомной энергетики Республики Казахстан на 2002–2030 годы».
10. Рогов Е. И., Язиков В. Г., Рогов А. Е. Оптимизация подготовленных и готовых к выемке запасов на рудниках подземного скважинного выщелачивания урана. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. МГГУ. 2002;(4):149–150.

11. Сакирко Г. К., Носков М. Д., Истомин А. Д. Оптимизация обработки блоков при добыче урана методом скважинного подземного выщелачивания. *IV Международная школа-конференция молодых атомщиков Сибири*: Сб. тез. докл. 23–25 октября 2013 г. Томск: Изд-во Томского политехнического ун-та; 2013. С. 30.
12. Джакупов Д. А. Повышение эффективности добычи урана методом подземного скважинного выщелачивания. *Международная научно-техническая конференция «Инновационное развитие горнодобывающей отрасли»*. Кривой Рог; 2016. С. 130–133.
13. Юсупов Х. А., Джакупов Д. А., Башилова Е. С. Повышение эффективности обработки сложных гидрогенных месторождений урана с применением пероксида водорода. *Горный журнал*. 2018;(2):18–21.
14. Polack C. Uranium exploration (2004–2014): New discoveries, new resources. In: *International Symposium on Uranium Raw Material for the Nuclear Fuel Cycle: Exploration, Mining, Production, Supply and Demand, Economics and Environmental Issues (URAM-2014)*. 23–27 June 2014. Vienna: International Atomic Energy Agency; 2014. P. 8–9.
15. Живов В. Л., Бойцов А. В., Шумилин М. В. *Уран: геология, добыча, экономика*. М.: Атомредметзолото; 2012. 301 с.
16. Каримов И. А., Хакимов К. Ж. Разработка сложноструктурного уранового оруденения подземного выщелачивания. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2015;(9):67–69.
17. Khawassek Y. M., Taha M. H., Eliwa A. A. Kinetics of Leaching Process Using Sulfuric Acid for Sella Uranium Ore Material, South Eastern Desert. *Egypt International Journal of Nuclear Energy Science and Engineering*. 2016;6:62–73.
18. Yurtaev A., Golovko V. Prospects of block underground leaching application on Streltsovskoe field deposits. In: *International Symposium on Uranium Raw Material for the Nuclear Fuel Cycle: Exploration, Mining, Production, Supply and Demand, Economics and Environmental Issues (URAM-2014)*. 23–27 June 2014. Vienna: International Atomic Energy Agency; 2014. P. 172.
19. Акынов Г. Б., Алыбаев Ж. А. Изучение влияния пероксида водорода на выщелачивание урана кислотным способом в условиях месторождения «Ирколь». *Вестник КазННТУ*. Алматы. 2016;(1):493–497.
20. Волков В. П. *Сорбционные процессы действующих производств*. М.: Издательский дом «Руда и металлы»; 2014. 160 с.
21. Аренс В. Ж., Гридин О. М., Крейнин Е. В. и др. *Физико-химическая геотехнология*. Учебник для вузов. М.: Горная книга; 2010.
22. Верхотуров А. Г., Сабигатулин А. А. Интенсификация добычи урана при использовании комплекса обработки прифилтровых зон геотехнологических скважин. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2019;(7):13–20. DOI: 10.25018/02361493-2019-07-0-13-20.
23. Самойлов В. И., Садуакасова А. Т. Гидроминеральное урансодержащее сырье. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2015;(6):96–104.
24. Титова С.М. *Разработка технологии сорбционного извлечения урана из сульфатно-хлоридных растворов скважинного подземного выщелачивания*. Дис. ... канд. техн. наук: 05.17.02. Екатеринбург; 2018.
25. Аликулов Ш. Ш., Собиров Ж., Хайдарова М. Э. Исследования и внедрение способов ограничения растекания продуктивных растворов и интенсификации технологических процессов подземного выщелачивания. *Известия высших учебных заведений. Горный журнал*. 2018;(3):100–106.
26. Юсупов Х. А., Джакупов Д. А., Назарбаева Н. А. Выбор схемы и параметров скважин технологического блока. *Международная научно-практическая конференция «Научное и кадровое сопровождение инновационного развития горно-металлургического комплекса»*. Алматы; 2017. С. 168–170.
27. Mataev M. M., Rakishev B. R., Kenzhetaev G. S. The impact of ammonium bifluoride complex on colmatating formations during the process of in situ uranium leaching. *International journal of advanced research*. 2017;(5):147–154.
28. Голик В. И., Заалишвили В. Б., Габараев О. З. Геофизическое обеспечение технологий выщелачивания урана. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2014;(7):112–121.
29. *Uranium Resources, Production and Demand International: Nuclear Energy Agency and the International Atomic Energy Agency. Boulogne-Billancourt France*. A Joint Report. Organisation for economic cooperation and development; 2018. 462 p.
30. Оракбаев Е. Ж. *Исследование и разработка эффективных систем управления процессом подземного выщелачивания*. Дис. д-ра техн. наук. Алматы: КНИТУ им. К.И. Сатпаева; 2017. 117 с.
31. Ahmed Saleh, Elldakli Fathi, McElroy Phillip. Simulation techniques used for modeling horizontal wells and the role of grid refinement. *The International Journal of Engineering and Science (IJES)*. 2019;8(3):80–84.
32. Solodov I. N. In Situ Leach Mining of Uranium in the Permafrost Zone, Khiagda Mine, Russian Federation. In: *URAM-2014. IAEA. International Symposium on Uranium Raw Material for the Nuclear Fuel Cycle: Exploration, Mining, Production, Supply and Demand, Economics and Environment issues*. 23–27 June. Vienna, Austria; 2014.

33. Молчанов А. А., Демехов Ю. В. Повышение эффективности добычи урана из месторождений гидrogenного типа, разрабатываемых методом подземного скважинного выщелачивания Республики Казахстан (на примере месторождения восточный Мынкудук). *Актуальные проблемы урановой промышленности. VII международная конференция*. Сб. науч. работ. Алматы: НАК Казатомпром; 2014. С. 92–98.

34. Сатыбалдиев Б. С., Уралбеков Б. М., Буркитбаев М. М. Оценка эффективности использования фильтрационного выщелачивания для извлечения урана из урановой руды. *Вестник КазНУ имени Аль-Фараби*. 2015;(3):23–27.

35. Матаев М. М., Кенжетаев Ж. С. Новые подходы регенерации скважин при подземном выщелачивании урана. Инновации в комплексной переработке минерального сырья. Сб. науч. работ. *Международная научно-практическая конференция Абишевские чтения-2016*. Алматы; 2016. С. 138–142.

36. Носков М. Д., Кеслер А. Г., Теровская Т. С., Бабкин А. С., Посохова Е. М. Экологический мониторинг и прогнозирование состояния недр при добыче урана в ЗАО «Далур». *Роговские чтения: проблемы инженерной геологии, гидрогеологии и геоэкологии урбанизированных территорий*. Сб. тр. конф., 7–9 апреля. Томск: Изд-во Томского государственного архитектурно-строительного университета; 2015. С. 208–211.

37. Ракишев Б. Р., Матаев М. М., Кенжетаев Ж. С. Исследование минералогического состава осадкообразований в условиях скважинной добычи урана. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2019;(7):123–131. DOI: 10.25018/0236-14932019-07-0-123-131.

38. Поеджаев И. П., Полиновский К. Д., Горбатенко О. А. и др. *Геотехнология урана*. Учеб. Пособие. Под общ. ред. Ю. В. Демехова, Б. М. Ибраева. Алматы; 2017. 327 с.

References

1. U₃O₈ Production Review. *Ux Weekly*. 2010;22(10). March 10.
2. Woods P., Pool T., Beneš V., Gorbatenko O., Jones B., Märten H., Solodov I., Slezak J. International overview of ISL uranium mining operations. In: *International Symposium on Uranium Raw Material for the Nuclear Fuel Cycle: Exploration, Mining, Production, Supply and Demand, Economics and Environmental Issues (URAM-2014)*. 23–27 June 2014. Vienna: International Atomic Energy Agency; 2014. P. 138.
3. Nazarova Z. M., Ovseychuk V. A., Lementa O. Yu. Uranium market: current state, problems and prospects of development. *Problemy sovremennoy ekonomiki*. 2016;(2):159–162. (In Russ.).
4. Svyatetskiy V. S., Solodov I. N. The strategy of technological development of uranium mining industry of Russia. *Gornyy zhurnal*. 2015;(7):68–77. DOI: 10.17580/gzh.2015.07.10. (In Russ.).
5. Derek M. Insight: Uranium is in a holding pattern. *Commodity Insights Bulletin*; 2015. 8 p.
6. Arnold N., Guffler K. The future of Nuclear Fuel Supply. In: *Proceedings of the 1st INRAG Conference on Nuclear Risk*. 16–17 April 2015. Vienna: University of Natural Resources and Life Sciences in Vienna; 2015. P. 1–27.
7. *The Global Nuclear Fuel Market. Supply and Demand 2011–2030*. WNA report; 2011. 236 p.
8. Golik V. I., Kultyshev V. I. History and prospects of uranium leaching. *Mining Information and Analytical Bulletin*. 2011;(7):138–143. (In Russ.).
9. Decree of the Government of the Republic of Kazakhstan No. 926 of 20.08.2002 "On the concept for development of uranium industry and nuclear power industry of the Republic of Kazakhstan for 2002–2030". (In Russ.).
10. Rogov E. I., Yazikov V. G., Rogov A. E. Optimization of prepared for extraction reserves at uranium drillhole in-situ leaching mines. *Mining Information and Analytical Bulletin*. MGGU Publishing House 2002;(4):149–150. (In Russ.).
11. Sakirko G. K., Noskov M. D., Istomin A. D. Optimization of extracting blocks in the process of ISL uranium production. In: *Proceedings of the IV International Conference for Young Nuclear Scientists of Siberia*. October 23–25. Tomsk: Publishing House of Tomsk Polytechnical University; 2013. P. 30 (In Russ.).
12. Dzhakupov D. A. Improving efficiency of uranium ISL production. In: *Proceedings of International Scientific and Technical Conference "Innovative Development of Mining Industry"*. Kryvyi Rih; 2016. P. 130–133. (In Russ.).
13. Yusupov H. A., Dzhakupov D. A., Bashilova E. S. Improving efficiency of complicated hydrogenic uranium deposit development due to the use of hydrogen peroxide. *Gornyy Zhurnal*. 2018;(2):18–21. (In Russ.).
14. Polack C. Uranium exploration (2004–2014): New discoveries, new resources. In: *International Symposium on Uranium Raw Material for the Nuclear Fuel Cycle: Exploration, Mining, Production, Supply and Demand, Economics and Environmental Issues (URAM-2014)*. 23–27 June 2014. Vienna: International Atomic Energy Agency; 2014. P. 8–9.
15. Zhivov V. L., Boytsov A. V., Shumilin M. V. *Uranium: geology, mining, economics*. Moscow: Atomred-metzoloto; 2012. 301 p. (In Russ.).

16. Karimov I. A., Khakimov K. Zh. Extraction of uranium mineralization of complicated structure by drill-hole in-situ leaching. *Mining Information and Analytical Bulletin*. 2015;(9):67–69. (In Russ.).
17. Khawassek Y. M., Taha M. H., Eliwa A. A. Kinetics of Leaching Process Using Sulfuric Acid for Sella Uranium Ore Material, South Eastern Desert. *Egypt International Journal of Nuclear Energy Science and Engineering*. 2016;6:62–73.
18. Yurtaev A., Golovko V. Prospects of block underground leaching application on Streltsovskoe field deposits. In: *International Symposium on Uranium Raw Material for the Nuclear Fuel Cycle: Exploration, Mining, Production, Supply and Demand, Economics and Environmental Issues (URAM-2014)*. 23–27 June 2014. Vienna: International Atomic Energy Agency; 2014. P. 172.
19. Akynov G. B., Alybaev Zh. A. Studying the effect of hydrogen peroxide on uranium leaching by the acid method in the conditions of Irkol deposit. *Vestnik KazNRTU*. Almaty, 2016;(1):493–497. (In Russ.).
20. Volkov V. P. *Sorption processes at existing productions*. Moscow: Publishing House "Ruda i Metally"; 2014. 160 p. (In Russ.).
21. Arens V. Zh., Gridin O. M., Kreinin E. V. et. al. *Physico-Chemical Geotechnology*. Textbook for Higher Educational Institutions. Moscow: Gornaya Kniga Publ.; 2010. (In Russ.).
22. Verkhoturov A. G., Sabigatulin A. A. Intensification of uranium production using processing of filtering zones of geotechnological boreholes. *Mining Information and Analytical Bulletin*. 2019;(7):13–20. DOI: 10.25018/02361493-2019-07-0-13-20. (In Russ.).
23. Samoilov V. I., Saduakasova A. T. Hydro-mineral uranium-containing resources. *Mining Information and Analytical Bulletin*. 2015;(6):96–104. (In Russ.).
24. Titova S. M. *Development of the process for sorption uranium extraction from ISL sulfate-chloride pregnant solutions*. Ph.D. thesis in Engineering Science. 05.17.02. Yekaterinburg; 2018 (In Russ.).
25. Alikulov Sh. Sh., Sobirov Zh., Khaidarova M. E. Studies and implementation of methods for restraining spreading of pregnant solutions and intensification of ISL technological processes. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal*. 2018;(3):100–106. (In Russ.).
26. Yusupov H. A., Dzhakupov D. A., Nazarbayeva N. A. Selection of arrangement and parameters of a production block boreholes. In: *International research-to-practice conference "Scientific and personnel support of innovative development of mining-and-metallurgical industry"*. Almaty; 2017. P. 168–170. (In Russ.).
27. Mataev M. M., Rakishev B. R., Kenzhetaev G. S. The impact of ammonium bifluoride complex on colmatage formations during the process of in situ uranium leaching. *International journal of advanced research*. 2017;(5):147–154.
28. Golik V. I., Zaalishvili V. B., Gabaraev O. Z. Geophysical support of uranium leaching processes. *Information and Analytical Bulletin*. 2014;(7):112–121. (In Russ.).
29. *Uranium Resources, Production and Demand International: Nuclear Energy Agency and the International Atomic Energy Agency. Boulogne-Billancourt France*. A Joint Report. Organisation for economic cooperation and development; 2018. 462 p.
30. Orakbaev E. Zh. *Research and development of effective underground leaching process control systems*. Doctoral thesis in Engineering Science. Almaty, KazNITU named after K.I. Satpayev; 2017. 117 p. (In Russ.).
31. Ahmed Saleh, Elldakli Fathi, McElroy Phillip. Simulation techniques used for modeling horizontal wells and the role of grid refinement. *The International Journal of Engineering and Science (IJES)*. 2019;8(3):80–84.
32. Solodov I. N. In Situ Leach Mining of Uranium in the Permafrost Zone, Khiagda Mine, Russian Federation. In: *URAM-2014. IAEA. International Symposium on Uranium Raw Material for the Nuclear Fuel Cycle: Exploration, Mining, Production, Supply and Demand, Economics and Environment issues*. 23–27 June. Vienna, Austria; 2014.
33. Molchanov A. A., Demekhov Yu. V. Improving efficiency of uranium ISL production from deposits of hydrogenic type in the Republic of Kazakhstan (case study of the Vostochny Mynkuduk deposit). In: *Actual problems of uranium industry. Proceedings of VII International Conference*. Almaty, NAC Kazatomprom; 2014. P. 92–98. (In Russ.).
34. Satybaliev B. S., Uralbekov B. M., Burkitbaev M. M. Performance evaluation for filtration leaching for extraction of uranium from uranium ore. *Bulletin of Al-Farabi Kazakh National University*. 2015;(3):23–27. (In Russ.).
35. Mataev M. M., Kenzhetaev Zh. S. New approaches to borehole regeneration in uranium ISL process. In: *Innovations in integrated processing of minerals: Proceedings of the Abishev International Research-to-Practice Conference-2016*. Almaty; 2016. P. 138–142. (In Russ.).
36. Noskov M. D., Kesler A. G., Terovskaya T. S., Babkin A. S., Posokhova E. M. Environmental monitoring and prediction of the subsoil conditions during uranium production at CJSC Dalur. In: *Proceedings of Rogov Scientific Conference: Problems of Engineering Geology, Hydrogeology and Geoecology of Urbanized Territories*. April 7–9 2015. Tomsk: Publishing House of Tomsk State Architecture and Building University; 2015. P. 208–211. (In Russ.).

37. Rakishev B. R., Mataev M. M., Kenzhetaev Zh. S. Investigation of mineralogical composition of sedimentation in conditions of uranium ISL. *Mining Information and Analytical Bulletin*. 2019;(7):123–131. DOI: 10.25018/0236-14932019-07-0-123-131. (In Russ.).

38. Poezjaev I. P., Polinovsky K. D., Gorbatenko O. A. et al. *Uranium Geotechnology*. Manual for graduate students. Demekhov Yu. V., Ibraev B. M. (eds.). Almaty; 2017. 327 p. (In Russ.).

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ / ORIGINAL PAPERS

DOI: 10.17073/2500-0632-2020-2-154-161

Отслеживание изменений топологии объектов добычи полезных ископаемых на прямоугольных и гексагональных решетках**Крамаров С. О., Митясова О. Ю.**

Сургутский государственный университет, г. Сургут, Россия;

✉maoovo@yandex.ru

Аннотация: Технологии дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) при реализации геологоразведочных работ во многом определяют их эффективность. Поэтому разработка нового методического обеспечения использования данных ДЗЗ в прогнозировании горно-геологических условий является актуальным направлением. Исследования основываются на анализе оценки информационной, социальной и экономической эффективности применения данных ДЗЗ на месторождениях полезных ископаемых. Отмечена роль применения новых технологий (в том числе дистанционных) в процессе оптимизации начальных стадий геологоразведочного процесса. Показаны возможности использования данных ДЗЗ для оценки общего характера, направленности и масштабов изменения природной среды под влиянием разработки месторождений. Предлагается методика, которую можно использовать в процессе отслеживания изменений топологии объектов при добыче полезных ископаемых. Рассмотрены различия в результатах, получаемых при использовании предлагаемой методики обработки спутниковых изображений на прямоугольном и гексагональном растре. Отмечены преимущества применения шестиугольной решетки для отслеживания границ объектов и формирования признаков. Приведены практические примеры из числа обработанных при помощи предлагаемой методики спутниковых изображений из открытых источников. Результаты, полученные в данном исследовании, позволяют осуществлять интеллектуальный анализ данных спутниковых снимков с последующей идентификацией объектов земной поверхности, интересующих исследователя. Показан пример использования полученных результатов совместно со специализированными программными средствами (такими как картографическая геоинформационная система GIS INTEGRO с возможностями решения геологических задач или зарубежная система ArcGIS) для построения контурных карт территории и получения ее описания на основе топологических отношений и метрической информации.

Ключевые слова: объект, добыча полезных ископаемых, спутниковый снимок, данные дистанционного зондирования Земли, бинарное изображение, код Фримена, топология.

Благодарность: Работа выполнена по Госзаданию ХМАО – Югры (Сургутский государственный университет).

Для цитирования: Крамаров С. О., Митясова О. Ю. Отслеживание изменений топологии объектов добычи полезных ископаемых на прямоугольных и гексагональных решетках. *Горные науки и технологии*. 2020;5(2):154-161. DOI: 10.17073/2500-0632-2020-2-154-161.

Tracking Changes in Mining Object Topology on Rectangular and Hexagonal Grids**S. O. Kramarov, O. Yu. Mityasova**

Surgut State University, Surgut, Russia;

✉maoovo@yandex.ru

Abstract: The Earth remote sensing technologies (ERS) in exploration largely determine their effectiveness. Therefore, development of a new methodological support for the use of remote sensing data in predicting mining and geological conditions is a key priority area. The studies are based on the analysis of the assessment of information, social, and economic efficiency of remote sensing data application at mineral deposits. The role of application of new technologies (including remote ones) in the process of optimizing initial exploration stages is noted. The possibilities of using remote sensing data to assess general nature, direction, and extent of environmental changes due to mining activities are shown. A technique is proposed that can be used in the process of tracking changes in the topology of objects in the course of mining. The differences in the results obtained using the proposed technique for processing satellite images on rectangular and hexagonal grids (rasters) are considered. The advantages of using the hexagonal grid for tracking the boundaries of objects and formation of signs are shown.



Practical examples – a number of open source satellite images processed using the proposed method – are presented. The study findings allow applying intelligent analysis of satellite imagery data with the subsequent identification of the earth's surface objects of interest. An example of using the obtained results together with specialized software tools (such as GIS INTEGRO geographic information system capable of solving geological problems, or the foreign ArcGIS system) for constructing contour maps of the territory and obtaining its description based on topological relations and metric information is shown.

Keywords: object, mining, satellite imagery, the Earth remote sensing data, binary image, Freeman code, topology.

Acknowledgement: The study was performed as assigned by KhMAD-Yugra (State Order) (Surgut State University).

For citation: Kramarov S. O., Mityasova O. Yu. Tracking changes in mining object topology on rectangular and hexagonal grids. *Gornye nauki i tekhnologii = Mining Science and Technology (Russia)*. 2020;5(2):154-161. (In Russ.). DOI: 10.17073/2500-0632-2020-2-154-161.

Введение

Геологоразведочная отрасль – важнейшая составная часть минерально-сырьевого комплекса, обеспечивающая создание и воспроизводство сырьевой базы для успешной работы и перспективного развития добывающих отраслей. Управление геологическим изучением недр является составной частью управления недропользованием.

Общей целью геологоразведочных работ является научно обоснованное, планомерное и экономически эффективное обеспечение добывающей промышленности разведанными запасами полезных ископаемых, изучение способов их полной, комплексной и экономически рациональной выемки в процессе эксплуатации месторождений с учетом охраны окружающей среды. Геологическая служба, геологические организации также оказывают услуги по изучению недр при строительстве и эксплуатации подземных сооружений, для нужд сельского хозяйства. Инженерно-геологическое изучение отдельных районов, территорий также необходимо для подготовки подземного захоронения вредных веществ и отходов производства, сброса сточных вод и решения других вопросов.

Разведка месторождений полезных ископаемых [3, 5, 10, 12] относится к сложным и комплексным задачам, для эффективного решения которых специалисту требуется максимально возможный объем актуальной информации об исследуемом объекте или участке [11].

Геологическое картографирование, включающее изучение элементов ландшафта, различных образований, недр, можно считать фундаментом любой геологоразведочной программы. Этот процесс дает возможность получить информацию о физических процессах формирования и изменения земной коры. А с помощью данных дистанционного зондирования в сочетании с информацией из других источников исследователи получают доступ к такой важной информации, как, например, сведения о составе и видоизменении пород, литологии, топографии поверхности, геоморфологии [11].

В настоящее время многовариантная система видов и способов получения и отображения геологической информации, среди которой информация из космоса занимает одно из ведущих мест, открывает возможность дальнейшей оптимизации начальных стадий геологоразведочного процесса. Внедрение материалов аэрокосмических съемок в теорию и практику геологии привело к совершенствованию методов региональных геологических исследований, а также к повышению качества карт геологического содержания.

Цели и задачи

В России имеется потенциал для применения космических технологий [18] в геологоразведке [3, 5, 10, 12, 17]. Развитие технологий, используемых горнопромышленными предприятиями [26], и новых геологических методов [17], в том числе дистанционных, позволяет в корот-

кие сроки и по максимально большим территориям дать оценку перспектив обнаружения месторождений. Разведка из космоса позволяет значительно оптимизировать процессы поиска полезных ископаемых. Применение методов ДЗЗ [6, 14] позволяет уменьшить стоимость геологоразведочных работ в результате проведения комплексных исследований обширных территорий, которые довольно часто недоступны для традиционных методов геологоразведки по тем или иным причинам [13]. Однако, несмотря на это, требуется государственная и инвестиционная поддержка (рис. 1).

На государственном уровне разрабатываются стратегии развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации. Поставлена цель создания «условий для устойчивого обеспечения минеральным сырьем социально-экономического развития и поддержания достаточного уровня экономической и энергетической безопасности Российской Федерации» [23, 25]. В России на геологоразведку в бюджете 2016 г. было выделено в целом около 35 млрд руб. В 2018 г. на проведение геологоразведочных работ на углеводородное сырье было направлено 14,3 млрд руб. бюджетных средств, на твердые полезные ископаемые – 5,8 млрд руб.

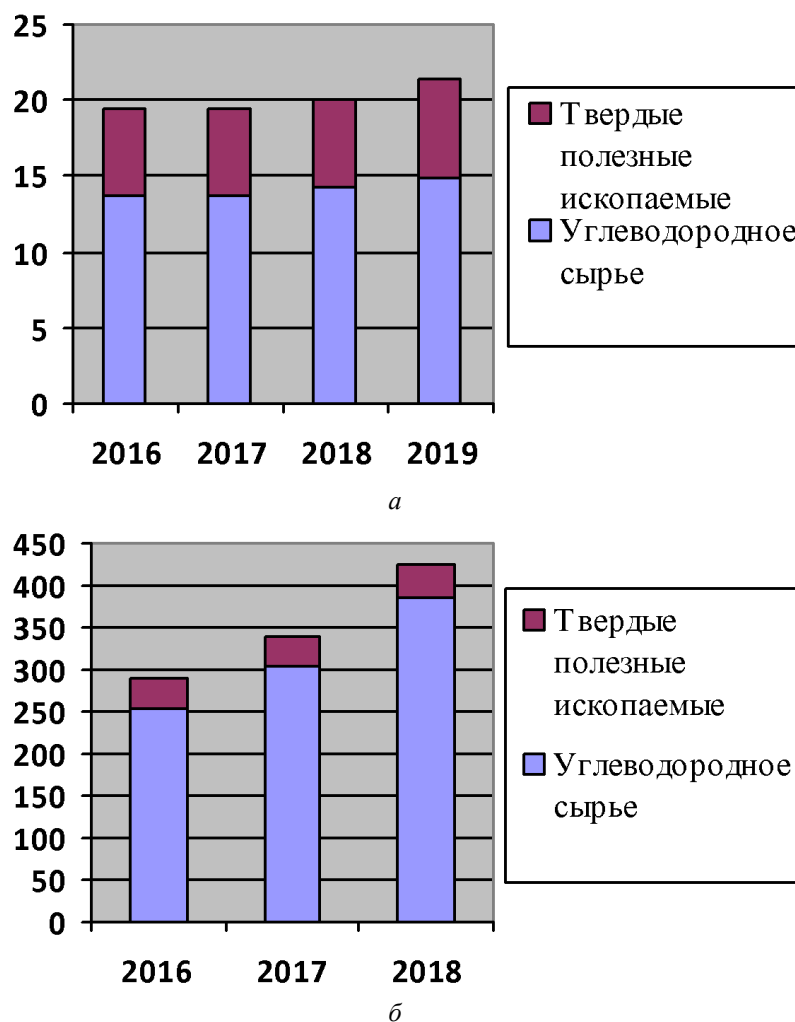


Рис. 1. Финансирование работ по геологической разведке:

a – затраты федерального бюджета, млрд руб.; *б* – затраты из внебюджетных источников, млрд руб.

Fig. 1. Exploration funding:

a – federal budget funding, bln rubles; *b* – extrabudgetary funding, bln rubles.



Рис. 2. Исходный снимок из открытых источников (Ставропольский край, Красногвардейский район)

Fig. 2. Original image from open sources (Stavropol Territory, Krasnogvardeisky district)

Данные дистанционного зондирования играют особую роль в прогнозировании горно-геологических условий. Сопоставление карт геодинамических зон (и зон древних разломов) с планами горных работ позволяет сделать вывод о приуроченности вывалов и других горно-геологических осложнений к вертикальной проекции локальных зон повышенной трещиноватости. Установлено, что около 90 % вывалов расположено в пределах таких зон, причем 70 % приурочено к их пересечениям (узлам).

На основе различного рода прогнозных решений может быть оценен не только экономический ущерб от изъятия территории месторождения из обращения, но и ожидаемая рентабельность его разработки.

Наиболее полное и рациональное использование данных ДЗЗ возможно лишь в комплексе с традиционными геологическими, геофизическими и геохимическими исследо-

ваниями. В этом направлении необходима разработка четкого технологического процесса синтеза и обработки разнородной, но одинаково важной в геологическом и поисковом отношении информации.

Целью исследования является оценка возможности использования методики для отслеживания границ объектов на изображениях, получаемых с космических аппаратов, для обработки данных дистанционного зондирования в прогнозировании горно-геологических условий.

Методы и ход исследования

Рассмотрим практический пример реализации разработанного подхода. Для этой цели выберем доступные данные из открытых источников. На рис. 2 представлен пример снимка, обработанный при помощи предлагаемой методики [1].

Сохраненный снимок был загружен в специальные программы, в которых реализована методика [1, 20] (рис. 3).

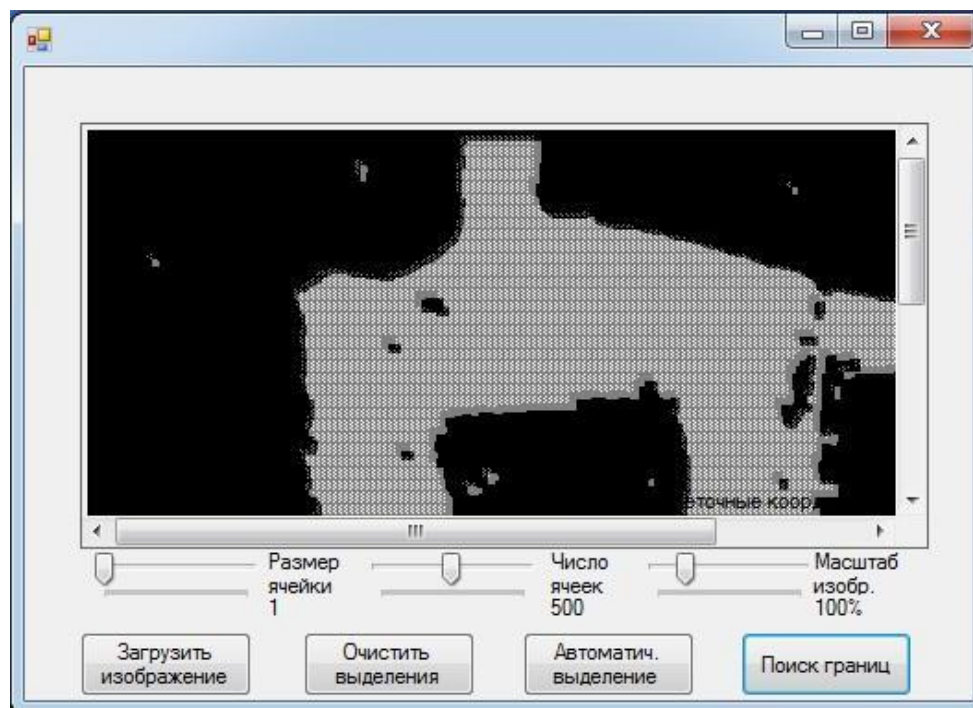


Рис. 3. Преобразованный к двухградационному (бинарному) виду исходный снимок, перенесенный на гексагональную сетку

Fig. 3. Original image converted to a two-gradation (binary) form, transferred to hexagonal grid



Рис. 4. Результаты отслеживания контура объекта:
a – на прямоугольной сетке; *б* – на шестиугольной сетке

Fig. 4. Object contour tracking results:
a – on rectangular grid; *b* – on hexagonal grid

Согласно предлагаемой методике [1, 20] отслеживаются контуры объектов с использованием цепного кода Фримена по связности 6 (для гексагонального растра [7, 19, 22]) или по связности 4 (для прямоугольного растра [1, 20, 21]). Далее определяются координаты x , y (на шестиугольной решетке определяется также координата $z = x + y$) для каждой точки,

принадлежащей контуру, и выделяются точки начала обхода контуров, в качестве которых используются крайние. На Рис. 4 показаны полученные на прямоугольной и шестиугольной сетках результаты отслеживания контура объекта, запечатленного на тестовом изображении.

Результаты

Топологические [4] характеристики протяженных (например, полигональных) объектов «могут быть представлены в виде графов покрытий и смежности. Граф покрытия гомоморфен контурной карте соответствующей местности. Ребра графа – границы районов, узлы – точки смыкания районов. Степень вершины такого графа – число районов, которые в ней смыкаются. Граф смежности — это как бы вывернутый на изнанку граф покрытия. В нем районы отображаются узлами (вершинами), а пара смыкающихся районов – ребрами» [2].

Рассмотренные в предыдущем разделе результаты позволяют использовать интел-

лектуальный анализ данных ДЗЗ [16]. Результаты исследования также могут быть использованы совместно со специальными программными средствами (например, ArcGIS или [15]) для построения карт (в том числе и контурных) соответствующей территории и получения топологических моделей (рис. 5).

Топологические модели используют, когда решение задачи предполагает наличие информации о топологических отношениях. С помощью подобной модели можно достаточно полно описать моделируемую территорию, используя как топологические отношения, так и метрическую информацию.

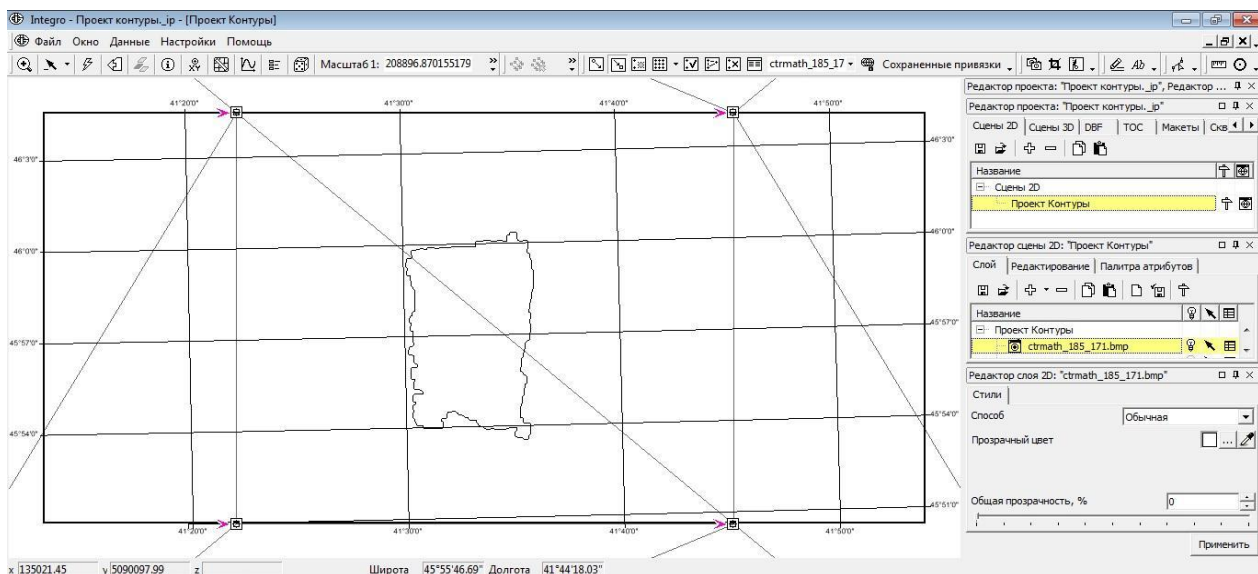


Рис. 5. Использование контурных изображений и [15] для построения карт территории

Fig. 5. Applying contour images and [15] for creating a territory maps

Заключение

Простота предлагаемого метода позволяет еще более полно и рационально использовать данные, получаемые с космических аппаратов. Удешевление геолого-съемочных и поисковых работ (за счет частичной замены дорогостоящих наземных полевых исследований более дешевым камеральным дешифрированием и более рацио-

нальной постановки разведочных и эксплуатационных работ), в свою очередь, вносит вклад в получение экономического эффекта от применения данных ДЗЗ. Многовариантность, возможность применения экспресс-информации и относительная дешевизна дистанционных методов обеспечивают эффективность их применения в соответствии с требованиями любого инвестора.

Библиографический список

1. Крамаров С. О., Храмов В. В., Митясова О. Ю. Спутниковая идентификация объектов добычи полезных ископаемых на месторождениях, разрабатываемых открытым способом. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2019;(5):72–79. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-05-0-72-79.
2. Иванов В. А., Смирнов В. А. *Геоинформационные системы, общий курс*. Ставрополь; 2000.
3. Gandhi S. M., Sarkar B. C. *Essentials of Mineral Exploration and Evaluation*. Elsevier, Amsterdam; 2016. 410 p. DOI: 10.1016/C2015-0-04648-2.
4. *Основы топологии* [Электронный ресурс]. Создание и публикация карт, аналитики и данных. Режим доступа: <https://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/latest/manage-data/topologies/topology-basics.htm>. [Дата обращения: 28.01.2020].
5. Haldar S. K. *Mineral Exploration. Principles and Applications*. Elsevier, Amsterdam; 2018. 378 p. DOI: 10.1016/C2017-0-00902-3.
6. Bobrowsky P. T., Marker V. *Encyclopedia of Engineering Geology*. Springer, Cham; 2018. 978 p. DOI: 10.1007/978-3-319-12127-7.
7. Крамаров С. О., Храмов В. В., Митясова О. Ю., Грошев А. Р. Способ контурного кодирования моделей объектов геоинформационного пространства на гексагональных решетках на основе данных ДЗЗ. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: тез. докл. Всерос. конф.* Москва, 11–15 ноября. М.; 2019. С. 40.
8. Middleton L., Sivaswamy J. The FFT in a hexagonal image processing framework. *Proceedings of Image and Vision Computing*; 2001. P. 231–236.
9. Wu H. S. Hexagonal discrete cosine transform for image coding. *Electronics Letters*. 1991;27(9):781–783.
10. Revuelta M. B. *Mineral Resources. From Exploration to Sustainability Assessment*. Springer, Cham; 2019. 653 p. DOI: 10.1007/978-3-319-58760-8.
11. Верховзин С. С. Дистанционное зондирование в разведке и других областях. *Золотодобыча*. 2018;4(233):36–39.
12. Roonwal G. S. *Mineral Exploration: Practical Application*. Springer, Singapore; 2018. 298 p. DOI: 10.1007/978-981-10-5604-8.
13. *Геология и горная промышленность* [Электронный ресурс]. ГИС технологии: интеграция геоинформационных систем – Совзонд. Режим доступа: <https://sovzond.ru/industry-solutions/geology-mining>. [Дата обращения: 10.02.2020].
14. Шовенгердт Р. А. *Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений* [пер. с англ.] М.: Техносфера; 2010. 560 с.
15. *ГИС INTEGR0. Геоинформационные технологии для природопользования* [Электронный ресурс]. отделение Геоинформатики ФГБУ «ВНИГНИ». М.: ВНИГНИ; 2018-2020. Режим доступа: <http://www.gis-integro.ru>. [Дата обращения 24.09.2019].
16. Falsaperla S., Hammer C., Langer H. *Advantages and Pitfalls of Pattern Recognition Selected Cases in Geophysics*. Amsterdam: Elsevier; 2020. 330 p.
17. Marjoribanks R. *Geological Methods in Mineral Exploration and Mining*. Springer, Berlin, Heidelberg; 2010. 248 p. DOI: 10.1007/978-3-540-74375-0.
18. Барталаев С. А., Егоров В. А., Жарко В. О., и др. Спутниковое картографирование растительного покрова России. М.: ИКИ РАН; 2016. 208. с.
19. *Hexagonal Grids*. Red Blob Games from Amit Patel. Режим доступа: <https://www.redblob-games.com/grids/hexagons>. [Дата обращения: 13.02.2020].
20. Крамаров С. О., Грошев А. Р., Каратаев А. С. и др. Возможности автоматизации контурного распознавания и идентификации объектов земной поверхности. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: тез. докл. Всерос. конф.* Москва, 12–16 ноября 2018 г. М.; 2018. С. 414.
21. Храмов В. В., Гвоздев Д. С. *Интеллектуальные информационные системы: учеб. пособие*. В 2 ч. Ч. 2: Интеллектуальный анализ данных. Рост. гос. ун-т путей сообщения. Ростов н/Д; 2012. 134 с.
22. Nagy B. Shortest Paths in Triangular Grids with Neighbourhood Sequences. *Journal of Computing and Information Technology*. 2003;11(2):111–122. DOI: 10.2498/cit.2003.02.04.
23. Панов Р. С. Развитие геологоразведки – залог стабильного экономического развития России. *Аналитический вестник*. 2014;16(534):7–16.
24. Hofmann P., Tiede D. Image segmentation based on hexagonal sampling grids. *South-Eastern European Journal of Earth Observation and Geomatics*. 2014;3(2S):173–177.
25. *Об утверждении Стратегии развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 года* [Электронный ресурс]. Официальный интернет-портал правовой информации. Режим доступа: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201812280093>. [Дата обращения: 14.02.2020].
26. Темкин И. О., Гончаренко А. Н. Проблемы моделирования взаимодействия интеллектуальных агентов на горнопромышленном предприятии. *Научно-технические ведомости СПбГПУ*. 2014;4–2(183):252–259.

References

1. Kramarov S. O., Hramov V. V., Mityasova O. Yu. Satellite Identification of Mining Objects at Deposits Developed by Open-Cut Method. *Mining Information and Analytical Bulletin*. 2019;(5):72–79. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-05-0-72-79. (In Russ.).
2. Ivanov V.A., Smirnov V.A. *Geoinformation systems, general course*. Stavropol; 2000. (In Russ.).
3. Gandhi S. M., Sarkar B. C. *Essentials of Mineral Exploration and Evaluation*. Elsevier, Amsterdam; 2016. 410 p. DOI: 10.1016/C2015-0-04648-2.
4. *Fundamentals of Topology* [electronic source]. Creation and publication of maps, analytics and data. Available from: <https://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/latest/manage-data/topologies/topology-basics.htm>. [Accessed: 28.01.2020]. (In Russ.).
5. Haldar S. K. *Mineral Exploration. Principles and Applications*. Elsevier, Amsterdam; 2018. 378 p. DOI: 10.1016/C2017-0-00902-3.
6. Bobrowsky P. T., Marker B. *Encyclopedia of Engineering Geology*. Springer, Cham; 2018. 978 p. DOI: 10.1007/978-3-319-12127-7.
7. Kramarov S.O., Hramov V.V., Mityasova O. Yu., Groshev A.R. A method for contour coding of geoinformation space object models on hexagonal grids based on remote sensing data. *Modern problems of remote sensing of the earth from space: thesis. doc. Vseros. conf.* Moscow, November 11-15, 2019. Moscow; 2019. P. 40. (In Russ.).
8. Middleton L., Sivaswamy J. The FFT in a hexagonal image processing framework. *Proceedings of Image and Vision Computing*; 2001. P. 231–236.
9. Wu H. S. Hexagonal discrete cosine transform for image coding. *Electronics Letters*. 1991;27(9):781–783.
10. Revuelta M. B. *Mineral Resources. From Exploration to Sustainability Assessment*. Springer, Cham; 2019. 653 p. DOI: 10.1007/978-3-319-58760-8.
11. Verkhozin S. S. Remote Sensing in Intelligence and Other Areas. *Zolotodobycha*. 2018;4(233):36–39. (In Russ.).
12. Roonwal G. S. *Mineral Exploration: Practical Application*. Springer, Singapore; 2018. 298 p. DOI: 10.1007/978-981-10-5604-8.
13. *Geology and Mining* [electronic source]. GIS technologies: integration of geographic information systems (GIS) – Sovzond. Available from: <https://sovzond.ru/industry-solutions/geology-mining>. [Accessed 10.02.2020]. (In Russ.).
14. Schowengerdt Robert A. *Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing*. 3rd Edition, eBook. Academic Press; 2006. 560 p.
15. *GIS INTEGRO. Geoinformation technologies for nature management* [electronic source]. Geoinformatics Department of FSBI "VNIGNI". Moscow, VNIGNI Publ.; 2018-2020. Available from: <http://www.gis-integro.ru/>. [Accessed 24.09.2019]. (In Russ.).
16. Falsaperla S., Hammer C., Langer H. *Advantages and Pitfalls of Pattern Recognition Selected Cases in Geophysics*. Amsterdam: Elsevier; 2020. 330 p.
17. Marjoribanks R. *Geological Methods in Mineral Exploration and Mining*. Springer, Berlin, Heidelberg; 2010. 248 p. DOI: 10.1007/978-3-540-74375-0.
18. Bartalaev S. A., Egorov V. A., Zharko V. O. et al. Satellite mapping of vegetation cover of Russia. Moscow, IKI RAS Publ.; 2016. 208 p. (In Russ.).
19. *Hexagonal Grids*. Red Blob Games from Amit Patel. Available from: <https://www.redblobgames.com/grids/hexagons/>. [Accessed 13.02.2020].
20. Kramarov S. O., Groshev A. R., Karataev A. S. et al. Possibilities of automation of contour recognition and identification of the earth's surface objects. In: *Modern problems of remote sensing of the earth from space: thesis. doc. Vseros. conf.* Moscow, November 12–16, 2018. Moscow; 2018. p. 414. (In Russ.).
21. Hramov V. V., Gvozdev D. S. *Intelligent information systems*. Textbook. Rostov, Rostov State Transport University Publ.; 2012. 134 p. (In Russ.).
22. Nagy B. Shortest Paths in Triangular Grids with Neighbourhood Sequences. *Journal of Computing and Information Technology*. 2003;11(2):111–122. DOI: 10.2498/cit.2003.02.04.
23. Panov R. S. Development of exploration – the key to stable economic development of Russia. *Analytical Bulletin*. 2014;16(534):7–16. (In Russ.).
24. Hofmann P., Tiede D. Image segmentation based on hexagonal sampling grids. *South-Eastern European Journal of Earth Observation and Geomatics*. 2014;3(2S):173–177.
25. *On the approval of Development Strategy for Mineral Resources Base of the Russian Federation up to 2035*. Official Internet portal of legal information. Available from: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201812280093>. [Accessed 14.02.2020]. (In Russ.).
26. Temkin I. O., Goncharenko A. N. Problems of modeling the interaction of intelligent agents at a mining enterprise. *St. Petersburg State Polytechnical University Journal*. 2014;4–2(183):252–259. (In Russ.).

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ / ORIGINAL PAPERS

DOI: 10.17073/2500-0632-2020-2-162-184

Эффективные международные подходы в государственном управлении недрами

Баймишев Р. Н.

 Министерство индустрии и инфраструктурного развития Республики Казахстан,
 г. Нур-Султан, Республика Казахстан

Аннотация: Развитие отраслей экономики, связанных с горнодобывающей и горно-перерабатывающей промышленностью во многом определяется национальными подходами в регулировании недропользования. Для Республики Казахстан, обладающей огромным геологическим потенциалом, актуально и значимо выработать и использовать конкурентоспособные в мировом масштабе подходы государственного управления недрами. Достижение данных целей позволяет уже в обозримом будущем сформировать потенциал последовательного и гарантированного участия национальной экономики в рыночном взаимодействии с ведущими мировыми партнерами на взаимовыгодных условиях. В работе сделан акцент на то, что, несмотря на прогнозируемые перспективные геологические данные, в Республике Казахстан в настоящее время констатируется факт значительного превышения объемов добычных работ над геологоразведочными работами, что сопровождается низким инвестиционным потенциалом в геологоразведочный сектор. Для решения накопленных проблем в сфере недропользования в работе проведен анализ сложившейся ситуации, выявлены причины возникших обстоятельств и выработаны предложения по совершенствованию системы и подходов государственного управления недрами, обоснована их эффективность. Анализ убедительно показал, что в связи с проведенными реформами в сфере недропользования Республики Казахстан и влиянием тенденций изменений мировой экономики требуется пересмотреть ранее применявшиеся подходы государственного управления недрами с целью выработки наиболее эффективной системы государственного управления недрами. В работе изучен международный опыт государственного управления недрами в странах, достигших наибольшего развития в данном аспекте, выявлены основные принципы при построении системы государственного управления сферой недропользования, проведен исторический анализ при определении влияния выбранных государством методов и подходов к управлению недрами на разных этапах развития экономики. На основе проведенного исследования выявлены зоны риска неэффективного государственного управления недрами, предложены подходы по совершенствованию системы и способов государственного управления недрами Республики Казахстан.

Ключевые слова: индекс инвестиционной привлекательности, государственное управление недрами, сектор полезных ископаемых, сфера недропользования, стратегические программы, стратегические минералы, лицензии недропользования, иностранные инвестиции в недропользование.

Для цитирования: Баймишев Р. Н. Эффективные международные подходы в государственном управлении недрами. *Горные науки и технологии*. 2020;5(2):162-184. DOI: 10.17073/2500-0632-2020-2-162-184.

Effective International Approaches to Subsoil Public Administration

R. N. Baimishev

 Ministry of Industry and Infrastructure Development of the Republic of Kazakhstan,
 Nur-Sultan, the Republic of Kazakhstan

Abstract: Development of economic sectors related to mining and processing industries is largely determined by national approaches to subsoil use regulation. For the Republic of Kazakhstan, having enormous geological potential, it is relevant and significant to develop and use globally competitive approaches to public administration of subsoil. Achieving these goals allows building in foreseeable future the potential for consistent and secure participation of the national economy in market interaction with leading global partners on mutually beneficial terms. In the paper, emphasis is placed on the fact that, despite forecasted promising geological data, significant excess of the scope of mining work over that of exploration is observed in the Republic of Kazakhstan. This is accompanied by low investment potential of the exploration sector. To solve the accumulated problems in the field of subsoil use, an analysis of the current situation was carried out, the causes of the current circumstances were



identified, and the suggestions were made for improving the system of and approaches to public administration of subsoil, with justification of their effectiveness. The analysis convincingly showed that the reforms carried out in the field of subsoil use in the Republic of Kazakhstan and the changing trends in the global economy strongly require revising the previously used approaches to public administration of subsoil for developing the most effective system of public administration of subsoil. The study examined the international experience of public administration of subsoil in the countries that have achieved the greatest progress in this field, identified the basic principles in building a system of public administration of subsoil use, conducted historical analysis to determine the effect of the methods and approaches selected by state for subsoil administration at different stages of economic development. Based on the study findings, the risk zones of inefficient public administration of subsoil were identified, and approaches to improving the system and methods of public administration of subsoil in the Republic of Kazakhstan were proposed.

Keywords: index of investment prospects, subsoil public administration, mineral resources sector, subsoil use sector, strategic programs, strategic minerals, subsoil use licenses, foreign investment in subsoil use.

For citation: Baimishev R. N. Effective international approaches to subsoil public administration. *Gornye nauki i tekhnologii = Mining Science and Technology (Russia)*. 2020;5(2):162-184. (In Russ.). DOI: 10.17073/2500-0632-2020-2-162-184.

Наилучший мировой опыт государственного управления недрами

Государственное управление – универсальный процесс в любом государстве, который подлежит правовому регулированию. Однако нюансы такого регулирования могут существенно различаться в зависимости от страны. В современный период большинство государств подвергаются существенному реформированию и практически одновременно проводят административные реформы [57, С. 23].

Топовыми юрисдикциями мира по инвестиционной привлекательности являются:

- 1) Невада (штат США), которая поднялась с 3-го места в 2017 г.;
- 2) Западная Австралия, которая переместилась на 2-е место после 5-го рейтингового места в 2018 году;
- 3) Саскачеван (штат Канады), который переместился на одно место – со 2-го в 2017 г. на 3-е в 2018 г.;
- 4) Квебек, занявший 4-е место в 2019 году;
- 5) Аляска, переместившаяся с 10-го места в 2017 г. на 5-е в 2018 г.

В топ-10 по отчету Института Фрейзера в 2018 г. вошли Чили, Юта, Аризона, Юкон и Северо-Западные территории [60, С. 1–2].

Индекс инвестиционной привлекательности (рис. 1) представляет собой составной ин-

декс, объединяющий два фактора: индекс восприятия политики и индекс минерального потенциала. При этом индекс восприятия политики включает такие факторы, как сложные процедуры и правила в сфере недропользования, уровень налогообложения, качество инфраструктуры и другие вопросы. Инвесторы указывают, что 40 % их инвестиционного решения определяется политическими факторами, 60 % основаны на оценке минерального потенциала юрисдикции.

Исследование, проведенное Институтом Фрейзера, позволяет выявить страны с наилучшим опытом государственного управления недрами. На протяжении многих лет в десятку стран с благоприятным инвестиционным климатом, признанную инвесторами, входят **Канада, США, Австралия, Чили**. Как мы видим из вышеприведенной таблицы (см. рис. 1), три штата Канады (Саскачеван, Квебек, Юкон) продолжают оставаться самыми привлекательными регионами в мире для инвестиций [60, С. 25].

Международные научные эксперты подтверждают, что **Канада** является одним из лидеров по привлечению инвестиций в горнодобывающую промышленность и одним из мировых центров по привлечению капитала для реализации горнорудных проектов по всему миру [26, С. 42].

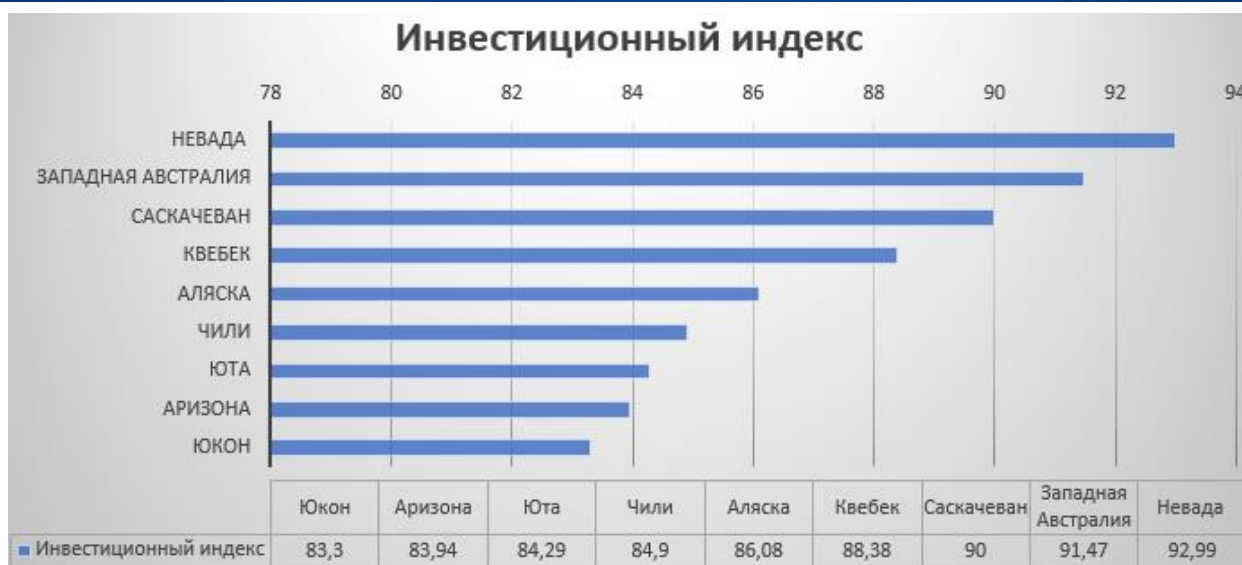


Рис. 1. Индекс инвестиционной привлекательности – топ-10 стран, признанных наиболее привлекательными для инвестирования в недропользование в 2018 г. [60]

Fig. 1. Index of investment prospects – top-10 countries recognized as the most attractive for investing in subsoil use in 2018 [60]

В 2017 г. добыча полезных ископаемых в Канаде составила примерно 44 млрд долл. Канада добывает около 60 видов минералов и металлов на 200 действующих шахтах и 7000 карьерах. Сектор полезных ископаемых (который включает разведку, добычу полезных ископаемых и связанные с ними вспомогательные мероприятия, первичную обработку и последующее производство продукции) составляет 19 % от общего внутреннего экспорта Канады и 5 % от номинального валового внутреннего продукта (ВВП). Сектор полезных ископаемых является основным работодателем, предоставляя 634 000 прямых и косвенных рабочих мест по всей стране в сельских, городских и отдаленных районах [62, С. 1].

Экономика Канады получает значительные выгоды от развития отечественной горнодобывающей промышленности с точки зрения как иностранных инвестиций в страну, так и отечественных инвестиций в горнорудную отрасль. Эти выгоды включают создание новых рабочих мест, общее экономическое развитие и пополнение государственного бюджета. Получение таких выгод становится возможным благодаря ясной и честной «политике устойчивого развития»

в области налогообложения, защиты окружающей среды и социальной сферы [26, С. 41].

Относительно успешности горнорудного сектора США следует отметить, что средний показатель **инвестиционной привлекательности США** улучшился в 2019 году. На основе проводимой политики по управлению недрами и минерального потенциала наиболее привлекательным штатом для осуществления инвестиций в разведку является Невада, которая в 2019 году считается самой привлекательной юрисдикцией в мире. Исходя из среднего показателя инвестиционной привлекательности, Соединенные Штаты занимают 3-е место в рейтинге по инвестиционной привлекательности в недропользование во всем мире после Канады и Австралии [60, С. 30].

При рассмотрении как политического, так и минерального потенциала стран **Австралия** за последние 5 лет сохраняет титул самого привлекательного региона в мире для инвестиций в недропользование. В 2018 г. Западная Австралия снова была оценена как самая привлекательная юрисдикция в регионе и вторая наиболее привлекательная юрисдикция в мире [60, С. 33].

Относительно проведения геологоразведочных работ и разработки месторождений в

Чили инвесторы отмечают, что в указанной республике существует политическая поддержка горнодобывающей деятельности на федеральном уровне, которая положительно влияет на принятие решений инвесторами [60, С. 41].

Рассматривая опыт государственного управления недрами в странах, достигших наилучших результатов в развитии сферы недропользования, мы представляем целесообразность его применения в Казахстане.

Стратегические программы развитых зарубежных стран по управлению недрами

Недропользование представляет собой специфический объект регулирования и управления, требующий наличия утверждаемых государством средне- и долгосрочных программ воспроизводства минерально-сырьевой базы, многофункционального текущего регулирования (правового, бюджетного, налогового, таможенного, валютного, внешнеэкономического и т.п.), управления движением объектов государственной собственности (участков недр) и доходами от владения этой собственностью; рыночного регулирования таких факторов и элементов экономики недропользования, как внедрение достижений научно-технического прогресса, создание новых рабочих мест, стимулирование инвестиционной активности и т.п. [21, С. 12].

Анализ системы целей и приоритетов в сфере управления природными ресурсами, на достижение которых направлена деятельность зарубежных стран и международных организаций, показывает тесную взаимосвязь проектов и программ, связанных с воспроизводством и использованием природных ресурсов и охраной окружающей среды.

Приоритеты стратегических документов стран – членов ОЭСР и международных организаций в природно-ресурсной сфере формируются исходя из анализа долгосрочных тенденций развития и долгосрочных прогнозов. Так, в ОЭСР разработаны долгосрочные экологические прогнозы и прогнозы потребления природных ресурсов, которые используются

для формирования среднесрочной и долгосрочной политики в природно-ресурсной и природоохранной сфере на национальном и наднациональном уровнях.

Обоснование выбора приоритетов в странах ОЭСР для реализации проектов в сфере природопользования связано с выбором между различными инструментами государственной политики для достижения конкретных целей [30, С. 4].

В качестве примера рассмотрим основные стратегические документы в сфере недропользования, разрабатываемые и реализующиеся в странах ОЭСР, достигших наибольшего успеха в развитии сферы недропользования.

Так, в **Канаде** на постоянной основе формируется среднесрочный стратегический план на пятилетний период, направленный на дальнейшее развитие геологоразведки. Указанный план учитывает актуальные социальные и технологические проблемы.

Стратегический план по геологическому изучению на 2018–2023 гг. (Geological Survey of Canada, Strategic Plan 2018–2023) закрепляет пять приоритетных направлений геологического изучения на территории Канады на пятилетний период, в том числе поиски и оценка полезных ископаемых, геологическое картирование, геоэкологическое изучение и т.д. [49].

Чтобы помочь Канаде стать мировым лидером в области устойчивого и ответственного освоения полезных ископаемых и заложить основу для длительного успеха в стране и за рубежом, принят канадский план по минералам и металлам (СММР) в сотрудничестве с провинциями и территориями. Мероприятия, предусмотренные в указанном плане, направлены на обеспечение того, чтобы горнодобывающая промышленность осуществляла значительный вклад в процветание канадцев, а именно: обеспечение рабочих мест, поддержка сообществ, содействие инновациям и внедрение чистых технологий, создание сильного канадского бренда и привлечение инвестиций [62].

По каждому из перечисленных направлений стратегическим планом Канады по минералам и металлам запланировано достижение определенных целей и задач. К примеру, для экономического развития и повышения конкурентоспособности предусматриваются следующие мероприятия:

– к 2020 г. достижение стабильности, предсказуемости и эффективности режимов регулирования горнодобывающей промышленности;

– к 2022 г. разработка совместной геонаучной стратегии по разведке полезных ископаемых;

– к 2025 г. создание инфраструктуры для поддержки разработки полезных ископаемых в перспективных регионах.

По итогам реализации указанных мероприятий правительство Канады ожидает, что среда для ведения бизнеса в ее минеральном секторе станет самой конкурентной и привлекательной в инвестиционном аспекте в мировом масштабе [62, С. 7].

В Канаде также существует программа «Региональная геология в геологоразведке» (The Targeted Geoscience Initiative) стоимостью 8,8 млн долл.США/год ориентированная на проведение трехмерного геологического картирования, чтобы стимулировать дополнительные частные инвестиции в геологоразведочные работы (ГРП) в районах действующих добычных предприятий, испытывающих проблемы с запасами. Трехмерное картирование позволяет снизить геологические риски в процессе проведения ГРП, а также будет способствовать росту профессиональной квалификации геологоразведчиков, работающих с цветными металлами [48, С. 36].

В Австралии в рамках Схемы стимулирования разведки (Exploration Incentive Scheme) действует Программа совместного финансирования разведочного бурения (Co-funded Exploration Drilling Program). С июля 2018 г. в рамках Схемы правительство штата Виктория ежегодно выделяет 10 млн долл.

США для мероприятий по стимулированию разведки.

Программа совместного финансирования разведочного бурения нацелена на проекты по инновационному разведочному бурению, предлагая возмещение до 50 % затрат на разведочное бурение:

– до 150 тыс. долл. США для обычных многоствольных проектов;

– до 200 тыс. долл. для проектов, предполагающих бурение одной глубокой скважины;

– до 30 тыс. долл. США для проектов по старательству.

Выплата по гранту осуществляется в следующем порядке: 80 % выплачивается после завершения бурения и предоставления промежуточного отчета о проведенных работах, 20 % – после сдачи окончательного отчета [46].

Среди стратегических программ США в сфере недропользования в 2018 г. принята Федеральная стратегия обеспечения безопасности и надежности поставок стратегических минералов, предусматривающая проведение политики, направленной на благо американского народа в безопасном и экологически чистом будущем, путем:

– выявления новых источников стратегических минералов;

– повышения активности на всех уровнях цепочки поставок, в том числе разведка, добыча, обогащение, разделение, легирование и переработка важнейших полезных ископаемых;

– обеспечения недропользователям электронного доступа к самым передовым топографическим, геологическим и геофизическим данным на территории США в пределах, разрешенных законом, и при условии соблюдения соответствующих ограничений в целях конфиденциальности и безопасности, включая соответствующие ограничения для защиты стратегических данных инфраструктуры, связанных с национальной безопасностью;

– упорядочения процессов лизинга и выдачи разрешений для ускорения разведки, добычи, обогащения, переработки важнейших полезных ископаемых [59, С. 13].

Мировой опыт по реализации принципа государственной собственности на недра

Анализ зарубежного опыта государственного регулирования минерально-сырьевого комплекса (МСК) показывает, что в большинстве зарубежных стран сохраняется право государственной собственности на недра.

Исключением являются США, где право частной собственности на земельный участок распространяется на недра и находящиеся в них полезные ископаемые. Тем не менее для разведки и добычи полезных ископаемых необходимо получение административного разрешения [9, С. 16].

Принцип государственной собственности на недра – основополагающий принцип, который определяет подходы государственного управления недрами. В зависимости от формы применения указанного принципа все государства можно разделить на следующие группы:

– в первой группе стран право собственности на недра является государственным, что признано и закреплено законом (Аргентина, Бразилия, Мексика, Перу, Чили, Казахстан, Россия и др.) [14, С.71];

– во второй право государственной собственности на недра распространяется на земельные участки, находящиеся в государственной собственности [14, С.71]. К примеру, в Соединенных Штатах владельцам частных земель принадлежат также и полезные ископаемые на этой земле, если, конечно, эти земли не являются федеральными землями. Тем не менее в большинстве случаев в Соединенных Штатах разработка месторождений ведется на государственных землях, которые принадлежат государству. Даже в случаях с частным владением требуется разрешение правительства, чтобы обеспечить соблюдение других законов, например в отношении окружающей

среды, здравоохранения, техники безопасности и т. д. Подобный подход в закреплении принципа собственности на недра применяют Франция, Германия, Япония, Великобритания, Канада и др. [19, С. 9].

Следует отметить, что Республика Чили, закрепив принцип государственной собственности на недра, на законодательном уровне признала приоритет отрасли недропользования над земельными вопросами. Указанное положение дает возможность недропользователю, получившему право недропользования на основании концессии, в любом случае проводить разведку и добычу полезных ископаемых, вне зависимости от оформления собственности на земельный участок. Ситуация, когда на участке недр имеется другой собственник земельного участка (не недропользователь), детально регламентирована и закрепляет методику определения стоимости земельного участка, которая в виде возмещения недропользователем уплачивается собственнику.

Основные положения по регулированию сферы недропользования успешными странами в горнорудной отрасли

Государственное управление недрами в Канаде основывается на следующих принципах и подходах.

Равное отношение к отечественным и иностранным инвесторам гарантировано законом. Иностранцы и канадские компании имеют одинаковый доступ к информации и статистическим данным по минералам, на них распространяется один и тот же налоговый режим и другие юридические требования [26, С. 42].

В Канаде также предоставление недр в пользование основано на арендно-лицензионной системе. На федеральных землях лицензия выдается одновременно на геологическую разведку и на эксплуатацию месторождения. Открывшая месторождение компания получает преференциальное право на его разработку. Если в течение 10 лет месторождение не эксплуатируется, права на него передаются государству. Провинции обладают полной юрисдикцией над природными ресурсами.

Они определяют политику недропользования, устанавливают фискальную систему, решают вопросы разведки, осуществляют лицензионный процесс и контролируют выполнение лицензионных контрактов, могут регулировать объемы добычи и вывоза ресурсов из провинций, в их компетенции находится решение природоохранных вопросов. Правительства стимулируют изучение и поиск ископаемых ресурсов на собственных территориях. Каждая провинция имеет собственные законы о недропользовании [38, С. 53–54].

В целях получения права недропользования на проведение геологоразведочных работ в Канаде компания подает заявку в соответствующее министерство (департамент) провинции и согласовывает состав проектируемых работ. Компания-заявитель должна иметь лицензию на право ведения геологоразведочных работ. В качестве платежа за пользование недрами рассматриваются затраты, понесенные компанией на геологическое изу-

чение. Ежегодно компания-недропользователь предоставляет в правительство отчет о проведенных геологоразведочных работах, по результатам рассмотрения которого принимается решение о продлении права пользования недрами. При выявлении месторождения, представляющего экономическое значение, факт открытия регистрируется, и компания получает преимущественное право на получение лицензии на добычу [9, С. 16–17].

Государственная политика Канады ориентирована в первую очередь на реализацию частной инициативы как основного инструмента роста в рамках обеспечивающей стабильное развитие системы законов и норм, к примеру [26, С. 45]. В связи с этим созданы условия для развития рынка юниорных компаний. Об указанном свидетельствует рис. 2, на котором видно, что распределение расходов на разведку и оценку месторождений между юниорными и крупными компаниями в Канаде за последние 10 лет в среднем значении достигло 50 %.

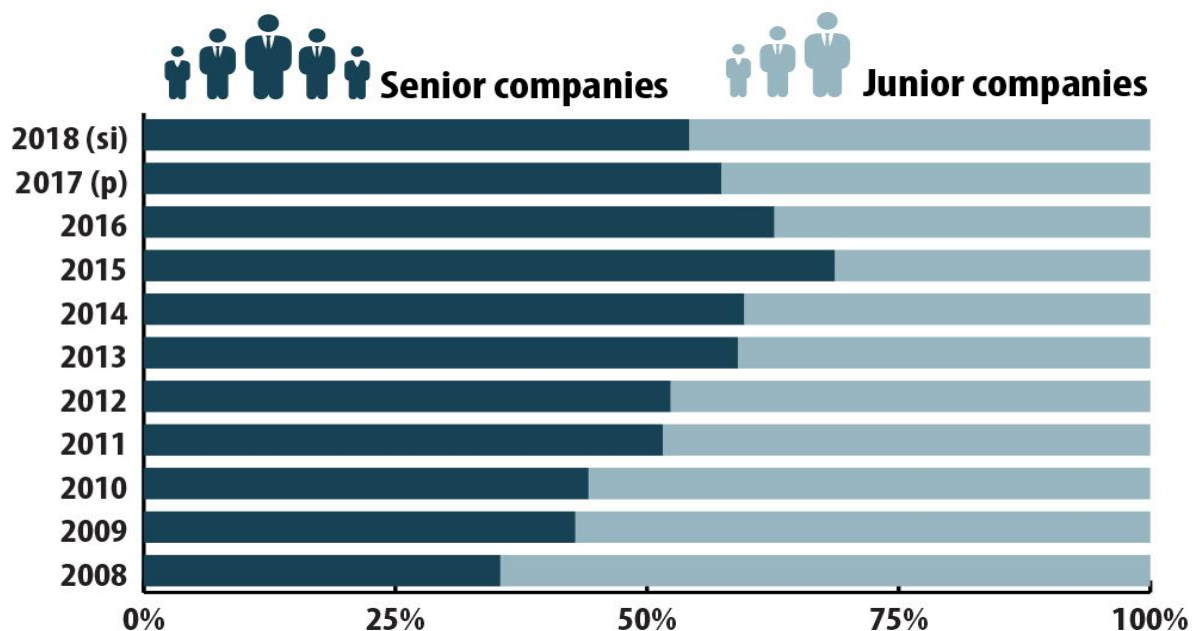


Рис. 2. Процентное распределение расходов на разведку и оценку месторождений между юниорными и крупными компаниями в Канаде за последние 10 лет [62]

Fig. 2. Percentage distribution of investments in exploration and estimation between junior and large companies in Canada over the past 10 years [62]

Налоговая политика Канады соблюдает баланс между необходимостью стимулирования экономического роста и наполнением бюджета. Этот баланс включает ограничение налогового бремени для компаний частного сектора, занимающихся геологоразведкой, добычей полезных ископаемых и продажей готовой продукции, и обеспечение уровня поступлений в бюджет, необходимого для выполнения государством своих обязательств и программ. Уникальным государственным механизмом, направленным на стимулирование их деятельности, является предоставление возможности переадресации налоговых льгот с помощью специальных акций. В соответствии с этим механизмом компании, не имеющие в определенном финансовом году налогооблагаемой базы, но имеющие права на определенные льготы, могут передать часть неиспользованного права на налоговые вычеты другим акционерам [31, С. 106].

Государственное управление недрами в США основывается на следующих принципах и подходах.

В США право пользования недрами приобретает в порядке удовлетворения заявки на проведение геологоразведочных или добычных работ (на землях, находящихся в федеральной собственности либо собственности штатов) или посредством заключения сделок с владельцами прав на пользование недрами. Право пользования недрами может быть напрямую предоставлено только юридическим лицам и гражданам США. Для этого требуется получение патента, который выдается местными органами Бюро по управлению земельными ресурсами министерства внутренних дел. Патент удостоверяет как право собственности на земельный участок, включая недра, так и исключительное право на разведку и добычу этих полезных ископаемых.

Для проведения работ на землях, находящихся в федеральной собственности, а также на землях резерваций и военных объектов требуется получение лицензии, не предусматривающей получение права собственности на

недра [9, С. 16]. Лицензионная процедура строго регламентирована в правовом отношении и институционально представляет собой последовательный иерархический процесс. В соответствии с законодательством 1987 г. лицензионные участки обязательно должны выставляться на торги. На неконкурентной основе они могут представляться только на федеральных землях в случае неудачи торгов. Допускается проведение торгов открытого и закрытого типов. Закрытость означает иную процедуру и имеет некоторую специфику. Информация по предмету торгов полностью доступна. Законодательство ограничивает размер лицензионных участков. Он не должен превышать 23,3 км² на Аляске и 10,36 км² в остальных штатах (как известно, российское законодательство подобных ограничений не содержит, не ограничиваются ни количество участков, ни объемы запасов). Торги проводятся преимущественно по бонусам, которые выплачиваются наличными до начала любых работ на участках. Также проводятся торги по уровню роялти [5, С. 15].

Государственное управление недрами в Республике Чили основывается на следующих принципах и подходах.

Концессия в отрасли добычи ископаемых является имущественным правом. Указанное означает, что владелец концессии может делать то, что он пожелает, – заложить, передать и т. д., т. е. все то, что можно было бы проделать с собственной недвижимостью. Имущество может быть изъято только с помощью экспроприации. В случае экспроприации должна выплачиваться достаточная компенсация наличными, и полный вычет должен отражаться у владельца в чистой стоимости, равной настоящей чистой стоимости будущих чистых свободных средств.

Обладатель концессии не привязан ко времени или рабочей программе, он волен поступать с имуществом так, как он пожелает. Нет определенных сроков по концессии. Она может принадлежать неопределенно долго с ежегодной оплатой за каждый гектар.

Сроки начала и конца действия лицензии определяются судебными органами, исключая, таким образом, вмешательство политических сил и вынос произвольных политических решений и защищая права на имущество.

Концессия на разведочные работы является исключительным правом вне зависимости от участка и охватывает все полезные ископаемые на данном участке.

Концессия на разведочные работы выдается на срок в 2 года. Она должна продлеваться один раз на следующие 2 года при условии, что владелец отказывается от права разработки 50 % лицензионной территории. Продление также легко можно получить.

Государственное управление недрами в Австралии основывается на следующих принципах и подходах.

Австралия установила очень жесткую политику за последние несколько лет. Она постоянно стремится ввести улучшения во всех сферах – правовой, геологической, а также административной. Так как добывающая отрасль является важной частью экономики страны, правительство постоянно пересматривает свое поведение и возможности по привлечению инвестиций в дальнейшие разработки. Оно понимает, что, для того чтобы поддерживать уровень разведочных работ, необходимо быть конкурентоспособным в мировом масштабе [20, С. 41].

Лицензии на пользование недрами предоставляются по принципу «первым пришел, первым получил» [25, С. 10].

Лицензии в Австралии выдаются на три вида операций по недропользованию: геологическое изучение недр, разведка, добыча.

Государство владеет природными ресурсами, находящимися над и под землей (есть исключения, например минералы кроме золота, серебра и других драгоценных металлов над и под землей, отчужденной до 01.01.1899).

Право недропользования предоставляется по принципу первой заявки на все виды полезных ископаемых (кроме углеводородного сырья).

Предусмотрены возрастающие арендные платежи и минимальные расходы на операции по разведке, чтобы экономически стимулировать быструю геологоразведку и исключить удержание участка в спекулятивных целях.

Выдача лицензии на разведку осуществляется по блокам (максимальное количество в рамках одной лицензии – 200 блоков).

Гарантированное право перехода от разведки на добычу.

Обеспечена доступность геологических данных в режиме онлайн в рамках соответствующего банка данных минеральных ресурсов.

Режим налогообложения недропользователей

Налогообложение горнодобывающей отрасли призвано гарантировать правительству и народу получение своей доли, создаваемой при разработке принадлежащих государству ископаемых природных ресурсов добавленной стоимости. Налогообложение горнодобывающей отрасли требует поддержания постоянного равновесия в связи с наличием обратной зависимости между уровнем и временем налоговых поступлений, с одной стороны, и уровнем геологоразведочной и добывающей деятельности – с другой.

Высокий уровень налогов ведет к снижению активности частного сектора. Если налоги находятся на низком уровне, государство не получает справедливую долю причитающегося ему дохода [26, С. 48].

Вопросом баланса этих интересов на протяжении всего времени задаются все страны мира, вместе с тем на сегодняшний день только некоторые развитые страны смогли достигнуть успеха путем построения удачной системы налогообложения, которая проста, понятна и справедлива для инвесторов, а также приносит соответствующий непрерывный доход государству и его населению. С целью извлечения положительного мирового опыта для нашей страны рассмотрим более подробно некоторые из зарубежных систем налогообложения недропользователей.

Особый интерес представляет зарубежный опыт изъятия государством рентных доходов у недропользователей таких стран, как США, Канада, Австралия. Указанные страны отличаются богатым опытом в данной сфере, поскольку формирование своих рыночных механизмов осуществляли на протяжении длительного промежутка времени. Главным механизмом изъятия рентных доходов в данных странах является эффективная налоговая политика, посредством которой государство осуществляет регулирование деятельности своих недропользователей.

Особенностью налогообложения недропользователей в США, Канаде и Австралии является арендная форма доступа к разведке и добыче полезных ископаемых. В США арендной форме частного капитала к разработке недр противостоит система открытого доступа, утвержденная первоначально в законе «О горнодобыче» 1872 г., который является важнейшим законодательным актом, регулирующим использование определенных видов минерального сырья и топлива.

Налоговые системы США и стран Западной Европы ориентированы на прямое нало-

гообложение. Такой режим в отличие от косвенного налогообложения является достаточно независимым от колебания цен на нефть и минеральные ресурсы на мировых рынках. В указанных странах с объектов продаж уплачивается только один рентный платеж – роялти [27, С. 119].

В **Австралии** по лицензии, выданной на определенную территорию, уплачивается налоговый платеж – арендная ставка, которая применяется дифференцировано в зависимости от вида операций по недропользованию и времени проведения работ и состоит из трех категорий в зависимости от периода разведки. Данная практика применена и в Казахстане в связи с проведенными реформами в сфере недропользования в рамках принятия Кодекса Республики Казахстан «О недрах и недропользовании» и внедрением австралийской модели управления недрами.

Основным налогом в недропользовании Австралии является роялти. В Западной Австралии объектом обложения роялти является объем реализованной продукции. Существуют три ставки роялти в зависимости от степени переработки минерального сырья (табл. 1).

Таблица 1

Механизм расчета роялти в Западной Австралии [11]

Royalty calculation mechanism in Western Australia [11]

Уровень переработки	Ставка роялти, %
Руда	7,5
Концентрат	5
Металл	2,5

Преимущества вышеуказанного подхода роялти:

- стимулирует недропользователей создавать глубокие переделы;
- облегчает администрирование;
- оказывает положительное влияние на привлечение инвестиций.

Также мы считаем, что в законодательстве Республики Казахстан необходимо предусмотреть фискальные стимулы на основе положительного опыта **Канады**. Так, основным налогом в Канаде является налог на прибыль, который платится как в бюджет федерации (по фиксированной ставке 28 %), так и в бюджет провинции (ставки в каждой провинции разные).

В совокупности они составляют 40–50 % прибыли компании.

В налоговой системе Канады существуют разные возможности эффективного поощрения геологоразведочных работ: перенос основного налогового бремени на стадию эксплуатации месторождения, в том числе постоянные налоговые льготы (величина налоговой ставки может изменяться) для горных компаний; временные налоговые скидки; предоставление налоговых льгот инвесторам, финансирующим геологоразведочные работы. В стране действует гибкая система налогообложения недропользования: регулируются ставки налогов, предоставляются «налоговые каникулы», применяется система скидок. Роялти изменяются в пределах 1–30 % и зависят от цен на нефть, дебита скважин, качества нефти, типа месторождений, уровня издержек на добычу и транспорт, времени открытия месторождений (до 1972 г., после 1972 г., после 1 октября 1992 г.). Такой механизм поощряет поиск и разведку новых месторождений и площадей, системно повышает эффективность нефтедобычи. Налоговая нагрузка нефтедобычи в стране относительно высока. Налог на прибыль составляет 40,8–45,8 %, в том числе федеральный – 28 %, отчисления в провинциальный бюджет – 12,6–17,8 %. Совокупная доля государства в доходах от добычи нефти по экспертным оценкам составляет 45–52 % [38, С. 54].

Организационные структуры компетентных органов по управлению недрами зарубежных стран

В Австралии для регулирования сферы геологии, недропользования и промышленности как единой последовательной цепочки деятельности инвестора 1 июля 2017 г. был создан Департамент горного дела, регулирования промышленности и безопасности (DMIRS), который работает над обеспечением безопасного, справедливого и ответственного будущего для сообщества, промышленности и ресурсов Западной Австралии. Следует отметить, что по уровню в системе государственного управления указанный департамент схож с министерствами в Республике Казахстан и подотчетен правительству

Австралии. Департамент также отвечает за сбор роялти и играет ведущую роль в предоставлении геологической научной информации, поддерживает частные инвестиции в разведку и разработку ресурсов. Надежное регулирование департамента, предоставление геологических данных и инновационное управление справедливой и безопасной системой названий помогает Западной Австралии оставаться привлекательным государством для инвестиций. Этот подход также поддерживает развитие сектора ресурсов, который лежит в основе экономики Западной Австралии.

DMIRS обеспечивает нормативный и политический надзор за сектором минеральных и энергетических ресурсов путем контроля соблюдения отраслевых экологических стандартов, систем присвоения названий ресурсов, охраны труда и техники безопасности, функций геологической науки и законодательства об опасных грузах. Таким образом, вышеуказанный австралийский департамент обеспечивает соблюдение принципа «одного окна», объединив все возможные функции, необходимые для государственного регулирования геологии, недропользования и промышленности, в едином государственном органе (структура департамента представлена в рис. 3). Также следует отметить тот факт, что соответствующими структурными подразделениями департамента Австралии (DMIRS) осуществляется государственное управление нефтегазовой и горнорудной отраслями [11].

В Канаде основную роль в федеральном управлении играют министерство природных ресурсов (Natural Resources Canada – NRCan), курирующее вопросы ресурсного значения, и Национальный совет по энергетике (National Energy Board – NEB), осуществляющий непосредственное регулирование [31, С. 105].

Миссией указанного министерства NRCan является разработка политики и программы, которые повышают вклад сектора природных ресурсов в экономику, улучшают качество жизни всех канадцев и проводят инновационную политику на предприятиях по всей Канаде для генерирования идей и передачи технологий.

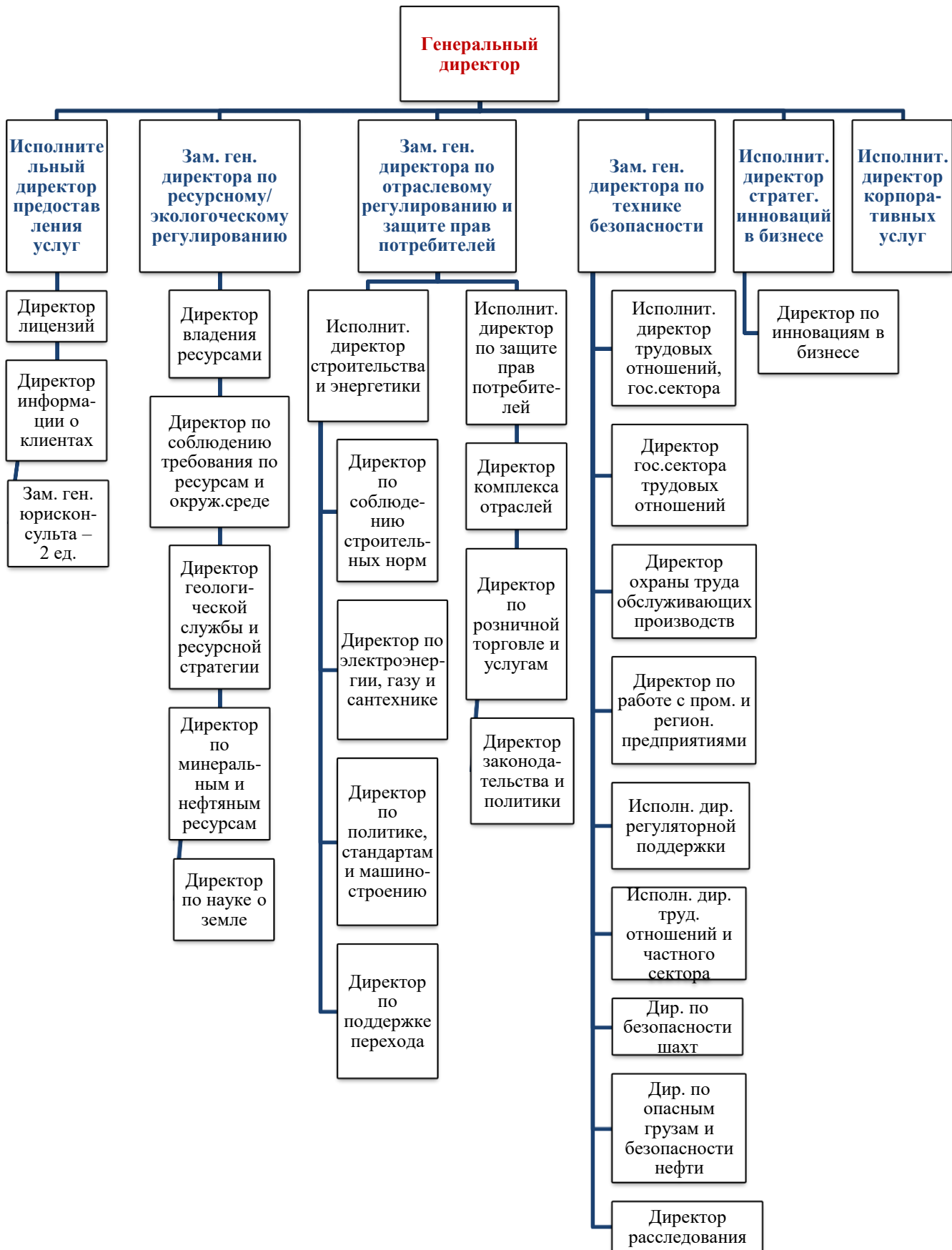


Рис. 3. Корпоративная структура Департамента горного дела, регулирования промышленности и безопасности (DMIRS) [11]

Fig. 3. Corporate structure of the Department of Mining, Industry Regulation and Safety (DMIRS) [11]

Министерство осуществляет государственное управление в следующих областях:

- источники энергии и распределение;
- леса и лесное хозяйство;
- полезные ископаемые и добыча полезных ископаемых;
- науки о Земле;
- энергоэффективность;
- наука и данные.

Министерство природных ресурсов также представляет Канаду на международном уровне для выполнения глобальных обязательств страны в отношении устойчивого развития природных ресурсов.

Часть сектора наук о Земле министерства природных ресурсов представляет Федеральная геологическая служба Канады (GSC), которая была создана в 1842 г. На начальном этапе основной задачей GSC стали работы прикладного характера для поддержки промышленности, например поиски угольных месторождений. Однако уже с конца 1850-х гг. GSC была нацелена на производство региональных работ, составление геологических карт, создание и поддержку геологического музея.

Сразу после Второй мировой войны лаборатории GSC начали оснащаться современной аппаратурой, а в геологических исследованиях стали широко использоваться данные аэрогеофизических съемок.

В 1970-е гг. картирование всей территории Канады было завершено на рекогносцировочном уровне, после этого началось обновление геологической информации на приоритетных территориях.

Сегодня Федеральная геологическая служба Канады (GSC) финансируется федеральным правительством и исследует федеральные земли (территории и шельф) и земли провинций (совместно с геологическими службами (ГС) провинций). ГС Канады выполняет геологическое картирование крупного, среднего и мелкого масштаба, аэрогеофизические съемки, работы по стандартизации баз данных и управлению ими, работы,

связанные с мониторингом и предупреждением природных катастроф, геоэкологические, гидрогеологические, лабораторные исследования, а также геофизическое изучение глубоких горизонтов земной коры. Численность GSC составляет около 600 человек. В состав GSC входят шесть региональных подразделений, расположенных в г. Оттаве, Сиднее, Ванкувере, Калгари, Квебеке, Дартмуте и два тематических отделения: региональных исследований и минеральных ресурсов (Minerals and Regional Geoscience Branch) и осадочной и морской геологии (Sedimentary and Marine Geoscience Branch).

Отделение региональных исследований и минеральных ресурсов проводит геологическое картирование Канадского щита и Кордильер, картосоставительские работы; гравиметрическую и аэромагнитную съемки. По контрактам с частными компаниями ГС выполняет и контрактные аэромагнитные, региональные геохимические и воздушные радиометрические съемки. Вторым направлением работ отделения является исследование месторождений полезных ископаемых, включая прогнозные построения и разработку инновационных методов и технологий ГПП. Третье направление работ ориентировано на изучение и мониторинг землетрясений, вулканических извержений, оползней и других опасных геологических явлений и процессов [48, С. 34–35].

На основании вышеизложенного мы видим, что в Канаде четко разграничены функции между геологической службой и уполномоченным органом по недропользованию. Геологическая служба осуществляет геологическое картирование территории страны и оказывает научно-консультационную помощь частным компаниям в области изучения недр, добычи и переработки минерального сырья [31, С. 104]. При этом, так же как и в Австралии, в Канаде государственное управление недрами осуществляется единым государственным органом, и его полномочия включают вопросы геологии, недропользования энергетических и минеральных ресурсов.

США. Федеральная ГС США (United States Geological Survey – USGS) была основана в 1879 г. как государственная структура, проводящая «классификацию национальных земель, исследование их геологического строения, оценку национальных минеральных и топливных ресурсов». С 1882 г. начались работы по составлению геологической карты США без деления на федеральные, региональные и частные земли. Составление топографических карт и мониторинг водных ресурсов проводились уже в 1880-х гг. [48, С. 40].

В настоящее время ГС является частью министерства внутренних дел США и включает биологическое, географическое, геологическое и гидрологическое подразделения. Общая численность научных сотрудников и технического персонала USGS составляет около 10 тыс. человек. Общее количество научных и региональных центров, полевых станций и информационных офисов – 400. Работы геологического подразделения USGS осуществляются силами четырех научных центров (национального и трех региональных), каждый из которых курирует работы по группе штатов (Западный, Центральный и Восточные регионы). Кроме того, на всей территории США, в том числе на Гавайях и Аляске, находятся 12 периферийных отделений (рис. 4).

Развитая геологическая инфраструктура зарубежных стран для привлечения инвестиций в сферу недропользования

Банк данных Австралии. В Австралии действует банк данных в виде интерактивной карты, в которой есть возможность просмотреть сведения по отдельным месторождениям по всей Австралии. Данная информационная система называется AUSGIN Geoscience Portal, она предусматривает блочную сетку на всей территории Австралии и предоставляет возможность не только выбрать свободный участок недр по блокам и ознакомиться с геологическими данными участка, но и рассмотреть географические данные участка, а также определить, свободен ли занят сам земельный участок. Кроме того, AUS-

GIN Geoscience Portal содержит информацию о занятых участках недр, полностью раскрывает статус разработки данного участка, размер инвестиционных затрат и владельцев соответствующих лицензий на недропользование [18].

Банк данных минеральных ресурсов штата Виктория, Австралия. С 2011 г. действует более усовершенствованная база данных минеральных ресурсов в штате Виктория (Западная Австралия). Это приложение для бесплатного веб-сопоставления, которое позволяет пользователям искать геопространственные базы данных и отображать результаты в виде карт или таблиц. Уровни данных GeoVic включают следующее:

- минеральные, нефтяные и добывающие отрасли;
- геологические карты и интерпретации в различных масштабах;
- данные землепользования;
- аэрофотосъемка;
- границы бортовой геофизической съемки;
- гравитационные, магнитные и радиометрические изображения;
- геофизические данные исследования скважин;
- результаты геохимии поверхности;
- руды и минералы;
- данные о возобновляемых источниках энергии (например, солнечные, геотермальные и ветровые) [2].

Таблица Data Layers содержит подробное описание слоев, доступных в GeoVic. В информационной системе GeoVic также имеется раздел Mining Licenses Near Me (MLNM) – инструмент онлайн-поиска, который позволяет найти лицензии на добычу твердых полезных ископаемых и нефти в штате Виктория. MLNM определяет точное место в штате Виктория:

- участков с лицензией на разведку, удержание и добычу твердых полезных ископаемых;
- участков с лицензией на разведку, хранение и добычу нефти;
- расположения карьеров.

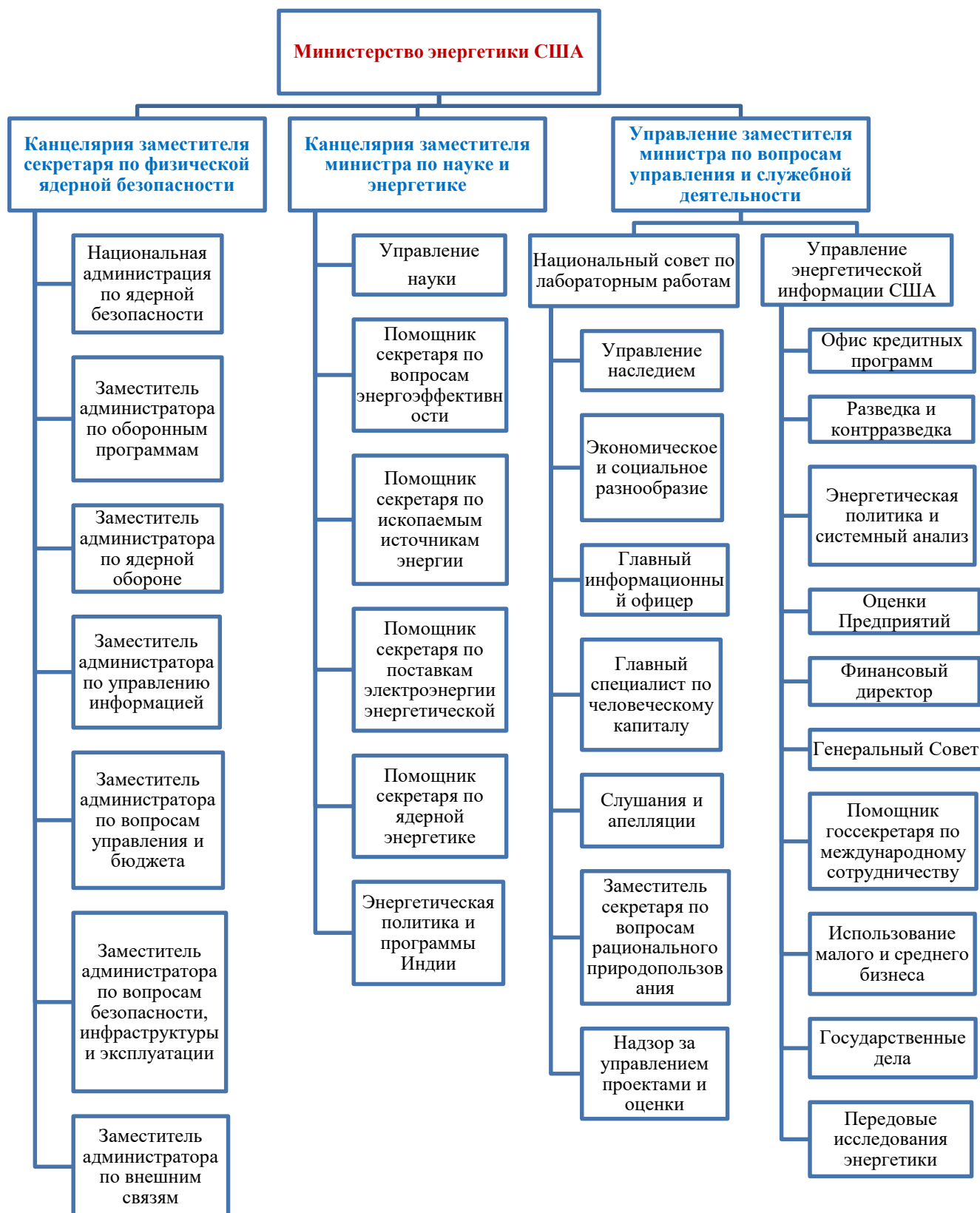


Рис. 4. Структура государственного органа, осуществляющего управление недрами в США [50]

Fig. 4. Structure of the public subsoil administration body in the USA [50]

Широкий спектр геологической информации, относящейся к штату Виктория, доступен через интернет-магазин Earth Resources Online, включая геологические карты штата, отчеты и другую цифровую информацию. Кроме того, онлайн-картографическая система GeoVis может быть использована для отчетов по поиску открытых файловых компаний и доступа к геологическим картам и горным планам [2].

Подобные информационные системы с базой данных по минеральным ресурсам, а также с автоматизированными бизнес-процессами по взаимодействию с государственными органами созданы и в других развитых странах, таких как Канада, США и др.

В результате анализа выявлены основные функциональные возможности иностранных систем:

- интерактивная карта геологических блоков с информацией для инвесторов;
- выгрузка данных в цифровых форматах;
- подача онлайн-заявок на получение права недропользования;
- онлайн-конкурс/аукцион;
- предоставление отчетности ЛКУ;
- доступ к данным в соответствии с правами пользователей и политикой безопасности;
- кросс-платформенное решение (Windows, OS X, Android, IOS).

Банк данных минеральных ресурсов Канады. В Канаде информационный электронный портал данных по недропользованию называется Атлас Канады.

Атлас Канады позволяет ознакомиться со следующими данными:

- свободными и занятыми территориями для проведения операций по недропользованию;
- геологической информацией по всем видам полезных ископаемых и геохронологической информацией (в том числе с геологией коренных пород, исследованных еще в 1956 г.);
- водоносными слоями и ресурсами подземных вод;
- топографической информацией;

- информацией о ресурсах и развитии инфраструктуры;
- территориями, опасными для проведения операций по недропользованию;
- физической географией;
- иной информацией, позволяющей сформировать инвестору наиболее полное представление об интересующем участке недр [1].

Заключение

Таким образом, в работе изучены система и методы государственного управления недрами зарубежных стран, горнорудный сектор которых достиг наилучших результатов, исследованы теоретические и практические проблемы действующей модели государственного управления.

По результатам проведенной работы мы пришли к следующим выводам.

От эффективного управления государственным имуществом – богатствами недр – зависит благосостояние страны. Сегодня государство выступает в качестве субъекта управления, осуществляет управление своим имуществом – государственным фондом недр, выставляя территорию для предоставления права недропользования и выдавая лицензии на пользование недрами. Государственное имущество как объект управления предоставляется во временное пользование инвесторам, и факт предоставления права пользования оформляется специальным государственным разрешением в виде лицензии. В лицензии фиксируются права и обязанности инвесторов, на законодательном уровне определены условия пользования недрами.

Анализ действующих стратегических программ показал, что в качестве основной задачи для восполнения минерально-сырьевой базы предусматривается финансирование геологоразведочных работ исключительно из бюджета Республики Казахстан, что не может являться единственной стратегической целью государства.

В связи с этим на основании проведенного исследования конкурентоспособных мировых подходов при стратегическом планировании на среднесрочный период предлагается закрепить следующие цели и задачи:

– привлечение частных инвестиций в геологическое изучение и геологоразведку путем упрощения и совершенствования процедур для юниорных компаний и увеличение затрат по изученности на 1 км² до 45 долл. США к 2025 г.;

– развитие геологической инфраструктуры, а также переориентирование геологической службы Казахстана на усиление предварительных исследований, картирования, анализа исторических данных на постоянной основе. При этом первые положительные результаты должны быть уже по итогам 2020 г.;

– создание национального банка данных минеральных ресурсов с использованием современных инновационных подходов и возможностей к 2021 г.;

– освобождение геологоразведки от налоговых нагрузок для повышения конкурентоспособности сферы недропользования Казахстана до мирового уровня в 2020 г.;

– развитие кадрового потенциала в геологической отрасли с учетом перехода на международные подходы подсчета запасов полезных ископаемых на постоянной основе.

Внедрение и реализация предлагаемых в настоящей работе мировых практик изменения и совершенствования государственных подходов при государственном управлении недрами окажут следующий положительный эффект:

– рост инвестиций за счет совершенствования административных подходов государственного управления недрами Республики Казахстан, обеспечения прозрачности информации, поддержки новых стандартов, упрощения получения прав недропользования;

– снижение коррупциогенности в сфере геологии и недропользования и сокращение трудозатрат на реализацию государственных функций за счет создания современной геологической инфраструктуры и применения инновационных возможностей при реализации контрольных функций компетентных органов;

– обеспечение справедливой доходности для государства от поступающих налогов, а также получение инвесторами справедливой отдачи от своих инвестиций.

Библиографический список

1. *Атлас Канады*. URL: <https://www.nrcan.gc.ca/maps-tools-and-publications/maps/earth-sciences-maps/10789>.
2. *Банк данных минеральных ресурсов штата Виктория, Австралия*. URL: <http://earthresources.vic.gov.au>.
3. Берденов С. А. Казахстанские месторождения меди и олова и их разработка в бронзовом веке. *Известия НАН РК*. 2008;(1):42–55.
4. Бережная Л. И. Показатели эффективности процесса управления федеральным фондом недр. *Геология нефти и газа*. 2009;(4):61–67.
5. Бобылев Ю. Н., Турунцева М. Ю. *Налогообложение минерально-сырьевого сектора экономики*. Научные труды № 140Р, Институт экономической политики им. Е.Т. Гайдара. М.; 2010. 200 с.
6. Богданова Е. П. Проблемы реформирования горного законодательства России и способы их решения, предложенные А.Ф. Дерябиным в новом горном положении. *Вестник Удмуртского университета*. 2011;(1):116–121.
7. Василевская Д. В. Нормативное закрепление права собственности на недра: опыт и тенденции. *Журнал российского права*. 2007;8(128):58-70.
8. *Выступление Председателя государственного комитета по инвестициям и управлению государственным имуществом Республики Таджикистан Саидова Д.Ш. на семинаре по продвижению инициативы прозрачности добывающих отраслей в Таджикистане*. Кохи Вахдат, 12 июля 2011 г. URL: <http://siteresources.worldbank.org>.
9. Глухов А. Н. *Практика современной геологоразведки: международный опыт и российские реалии*. Сев.-Вост. комплекс. НИИ. Магадан: Кордис; 2007. 84 с.
10. *Горная энциклопедия. Казахская Советская Социалистическая Республика*. URL: <http://www.mining-enc.ru/k/kazaxskaya-sovetskaya-socialisticheskaya-respublika>.
11. *Департамент горного дела, регулирования промышленности и безопасности (DMIRS) Западной Австралии*. URL: <https://www.dmir.wa.gov.au>.
12. Есеналиев А. Е., Тоханова Р. Ж., Кожаниязов Е. И. Понятие государственного управления в области недропользования в Республике Казахстан. *Современные проблемы науки и образования*. 2013;(6):7.

13. Жалелова Р. З., Пастернак А. А., Жалелова С. З. *Стратегическое управление металлургическим комплексом Казахстана*. Алматы: Институт экономики КН МОН РК; 2019. 80 с.
14. Жукова И. В. Система управления горнодобывающей промышленностью в России: история становления. *Азимут научных исследований: экономика и управление*. 2018;7(3(24)):96–99.
15. Закон СССР «Об утверждении основ законодательства Союза ССР и Союзных Республик о недрах» от 9 июля 1975 г. URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=ESU&n=778&rnd=242442.129575489&dst=100013&fld=134#0>.
16. Закон Республики Казахстан от 27 января 1996 г. № 2828 «О недрах и недропользовании». Информационно-правовая система нормативных правовых актов Республики Казахстан Эділет. URL: http://adilet.zan.kz/rus/docs/U960002828_.
17. Ибрагимова Г. Е. Наследие К. И. Сатпаева и перспективы Улытау-Жезказганского региона. *Қазақ мемлекеті мен ұлт тұтастығының қалыптасуындағы Ұлытаудың тарихи орны. Республикалық ғылыми-тәжірибелік конференция материалдарының жинағы*. Астана; 2006. С. 73–81.
18. Информационная система Австралии AUSGIN Geoscience Portal. URL: <http://portal.geoscience.gov.au/gmap.html>.
19. Исследование Всемирного банка SOFRECO: *Казахстанское законодательство в отношении предоставления прав на разведку полезных ископаемых*. Июль 2013. 146 с.
20. Исследование горнодобывающего и металлургического секторов промышленности Республики Казахстан. Документ Всемирного банка. Октябрь 2001. 165 с.
21. Кимельман С. А. *Совершенствование механизмов управления государственной собственностью на недра*. Автореф. дис. ... д-ра экон. наук. М.; 2004. 5 с.
22. Клюкин Б. Д. *Горные отношения в странах Западной Европы и Америки (Англия, Канада, США, Франция, ФРГ)*. Ин-т законодательства и сравн. правоведения при Правительстве Рос. Федерации. М.: Городец, 2000. 442 с.
23. Кодекс Республики Казахстан «О недрах и недропользовании» от 27 декабря 2017 г. Информационно-правовая система нормативных правовых актов Республики Казахстан Эділет. URL: <http://adilet.zan.kz/rus/docs/K1700000125>.
24. Конституция (Основной закон) Российской Социалистической Федеративной Советской Республики (утверждена постановлением XII Всероссийского Съезда Советов от 11 мая 1925 г.). URL: http://constitution.garant.ru/history/ussr-rsfsr/1925/red_1925/.
25. Корнеев А. В., Соколов В. И. *Основные формы земельной собственности и организация доступа к месторождениям топливно-энергетического и минерального сырья в США: аналитический доклад*. Институт США и Канады АН СССР. М.; 2009. 10 с.
26. Корпорация Кинросс Голд. *Привлечение иностранных инвестиций в горнодобывающую промышленность Российской Федерации*. Финансово-экономическое исследование и рекомендации для Правительства РФ, подготовленные в рамках работы Консультативного совета по иностранным инвестициям Российской Федерации (КСИИ). М.; 2011. 86 с.
27. Курникова А. А. Зарубежная практика изъятия платежей нефтедобывающей отрасли. *Вестник ОГУ*. 2004;(8):118–122.
28. Лекторова Ю. Ю. Социология государственного управления в условиях информатизации общества: региональный опыт. *Вестник ПНИПУ. Социально-экономические науки*. 2016;(2):68–77.
29. Меморандум White&CaseKazakhstan. *Принцип рационального и комплексного использования недр*. Астана; 2015. 12 с.
30. Милетенко Н. В., Данилов А. П., Александров О. В., Добролюбова Е. И. Проектное управление развитием минерально-сырьевой базы: международный опыт и приоритеты внедрения в России. *Разведка и охрана недр*. 2017;(7):3–10.
31. Моргунов Е. В. Управление недропользованием в Канаде. *Народонаселение*. 2014;(2):103–113.
32. Надырбаев А. А. Современное состояние минерально-сырьевой базы Республики Казахстан. *Геология и недропользование Казахстана*. 2018;1(1):14–19.
33. Накипов А. Закон РК «О недрах и недропользовании» от 24 июня 2010 г.: практическое применение. *Юрист*. 2011;(6):30–32.
34. Налоговый Кодекс Республики Казахстан «О налогах и других обязательных платежах в бюджет» от 27 декабря 2017 г. Информационно-правовая система нормативных правовых актов Республики Казахстан Эділет. URL: <http://adilet.zan.kz/rus/docs/K1700000120>.
35. Nikitina N. Mineral Resource Dilemma: How to Balance the Interests of Government, Local Communities and Abiotic Nature. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2014; 1(9):8632-8644. DOI: 10.3390/ijerph110908632.

36. Новикова Е. В. Об исторических корнях горного законодательства. *Недропользование и право*. 2007;(14):23–28.
37. *Отчет Организации экономического сотрудничества и развития «Реформирование горной промышленности в Казахстане: инвестиции, конкурентоспособность, устойчивое развитие»*. 2017. 55 с.
38. Павленко В. И., Селюков В. Г. Регулирование сферы недропользования в приарктических странах (США, Канаде, Норвегии). *Арктика: экология и экономика*. 2013;3(11):50–57.
39. Пасечник О. С., Романюк Л. В. Понятие и функции государственного управления в сфере недропользования. *Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Юридические науки*. 2016;2(68)(4):97–105.
40. Пелевин Ю. А. *Берг-привилегия. 10 декабря 1709 г. Полное собрание законов Российской империи (ПСЗ)*. Собрание первое. СПб. 1830;V(3464). URL: http://historydoc.edu.ru/catalog.asp?cat_ob_no=15136&ob_no=15135.
41. *Перечень поданных заявлений на выдачу лицензий на недропользование*. Департамент недропользования Министерства индустрии и инфраструктурного развития РК. URL: <http://dep-nedra.miid.gov.kz/ru/pages/perechen-podannyh-zayavleniy-na-licenziyu-0>.
42. *Послание Президента Республики Казахстан – Лидера нации Нурсултана Назарбаева народу Казахстана «Стратегия «Казахстан-2050»: новый политический курс состоявшегося государства» от 14 декабря 2012 г.* URL: http://www.akorda.kz/ru/events/astana_kazakhstan/participation_in_events/poslanie-prezidenta-respubliki-kazahstan-lidera-nacii-nursultana-nazarbaeva-narodu-kazahstana-strategiya-kazahstan-2050-novyi-politicheskii.
43. *Презентационный материал Министерства по инвестициям и развитию Республики Казахстан «Необходимые реформы налогового законодательства в связи с разработкой проекта Кодекса о недрах и недропользовании»*. Астана; 2016. 10 с.
44. *Презентационный материал Министерства по инвестициям и развитию Республики Казахстан «Кодекс о недрах и недропользовании»*. Астана; 2018. 17 с.
45. *Приказ министра экологии, геологии и природных ресурсов Республики Казахстан от 10 сентября 2019 г. №26-Ө Стратегический план Министерства экологии, геологии и природных ресурсов Республики Казахстан на 2017–2021 годы*. Информационно-правовая система нормативных правовых актов Республики Казахстан Әділет.
46. *Программа совместного финансирования разведочного бурения (Co-funded Exploration Drilling Program)*. URL: <http://www.dmp.wa.gov.au/Geological-Survey/EIS-Government-co-funded-1433.aspx>.
47. Рудь В. В. Анализ объектов и экономико-правовых механизмов управления государственной собственностью на недра. *Разведка и охрана недр*. 2009;(2):62–66.
48. Ставский А. *Альтернативная концепция развития региональных геологических работ в России*. М.: Центр «Минерал» ФГУНПП «Аэрогеология»; март 2008. 47 с.
49. *Geological Survey of Canada, Strategic Plan 2018–2023*. Available from: http://ftp.maps.canada.ca/pub/nrcan_rncan/publications/ess_sst/313/313405/gid_313405.pdf.
50. *Структура Министерства энергетики Соединенных Штатов Америки*. URL: <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2019/11/f68/eere-org-chart-110519.pdf>
51. Сулейменов М. К. Нефтяное право Республики Казахстан. *Энергетическое право*. 2007;(2):4–9.
52. Тарасов Р. С. Направления промышленной политики России в развитии горнозаводского дела XVIII–XIX вв. *Гуманитарные и социальные науки*. 2012;(5):2–4.
53. Таханова С. С. Управление недрами Республики Бурятия. *Разведка и охрана недр*. 2017;(9):3–10.
54. Токтабаев Т. С. *Формирование инвестиционно-привлекательной модели управления недрами в горнорудном секторе экономики*. Дис. ... д-ра ДВА. Астана: АО «Университет КАЗГПОУ»; 2017. 152 с.
55. Топоев А. *Об одном письме геолога Нурсултану Назарбаеву*. URL: <http://www.matritca.kz/news/43016-ob-odnom-pisme-geologa-nursultanu-nazarbaevu.html>.
56. Турков О. *Геология в Казахстане: богатое прошлое и смутное будущее*. URL: <https://camonitort.kz/32521-geologiya-v-kazahstane-bogatoe-proshloe-i-smutnoe-buduschee.html>.
57. Южаков В. Н., Талапина Э. В., Александров О. В., Тихомиров Ю. А., Добролюбова Е. И. *Концепция федерального закона о государственном управлении в Российской Федерации*. М.; 2015. 96 с.
58. Язев В. А., Ермолович М. Н. *Федеральное и региональное правовое регулирование добычи и переработки общераспространенных полезных ископаемых*. М.: Изд. Государственной Думы; 2014. 160 с.
59. *A Federal Strategy to Ensure Secure and Reliable Supplies of Critical Minerals*. 2018. 70 с. Available from: <https://www.courthousenews.com/wp-content/uploads/2019/06/minerals-strategy.pdf>.
60. Stedman Ashley, Green Kenneth P. *Survey of mining companies*. Fraser Institute Annual; 2018. 86 p.
61. *Extractive Industries Transparency Initiative*. Available from: <https://eiti.geology.gov.kz>.
62. *The Canadian Minerals and Metals Plan*. March 2019. 52 p. Available from: MinesCanada.ca.

63. Strauch B., Korolchenko A. Mining activities in the focus of investors Common characteristics and differences of the German, French, Russian and Japanese mining law [Bergbau im Fokus der Investoren Gemeinsamkeiten und Unterschiede des deutschen, französischen, russischen und Japanischen Bergrechts]. *World of Mining – Surface and Underground*. 2011;63(3):156–161.
64. Allanina L. M., Khairullina N. G., Zyleva N. V., Ruf Y. N., Permyakov A. V., Mikhailova M. N., Aleksanrovish G. V. Legal regulation of subsurface use – in Russia. Actual problems. *International Journal of Environmental and Science Education*. 2016;11(18):12471–12485.
65. Maralbaev A. O., Usupaev Sh. E. Legislation and regulatory framework and its improvement in subsoil use in Kyrgyzstan Information about author. *Gornyi Zhurnal*. 2016;(8):28–32. DOI: 10.17580/gzh.2016.08.05.
66. Неклюдов Е. Г. Эволюция правовых условий развития горной промышленности в Царстве Польском. *Вопросы истории*. 2018;(5):136–148.
67. *Peru Mining Law*. Available from: <http://www.iclg.co.uk/practice-Areas/mininglaw/mining-law-2016/peru>. [Accessed June 28, 2016].
68. *The Chilean Copper Commission (COCHILCO)*. Ministry of Mining, Government of Chile. Available from: <http://www.cochilco.cl/english/legislation/laws.asp>. [Accessed June 28 2016].
69. *Argentina Mining Law*. Available from: <http://www.iclg.co.uk/practice-Areas/mining-law/mining-law-2016/argentina>. [Accessed June 28 2016].
70. *Ghana Mining Law*. Available from: <https://www.africanlawbusiness.com/publications/mining-law/mining-law-2016/ghana/q-And-A>. [Accessed June 28 2016].
71. *Madagascar Mining Law*. Available from: <https://www.africanlawbusiness.com/publications/mining-law/mining-law-2016/madagascar/q-And-A>. [Accessed June 28 2016].
72. *Tanzania Mining Act*. Available from: https://mem.go.tz/wp-content/uploads/2014/02/0013_11032013_Min-Act_2010.pdf. [Accessed June 28 2016].

References

1. *Atlas of Canada*. Available from: <https://www.nrcan.gc.ca/maps-tools-and-publications/maps/earth-sciences-maps/10789>.
2. *Mineral Resource Databank of Victoria*, Australia. Available from: <http://earthresources.vic.gov.au>.
3. Berdenov S. A. Kazakhstani deposits of copper and tin and their development in the Bronze Age. *Izvestiya NAN Kazakhstana*. 2008;(1):42–55. (In Russ.).
4. Berezhnaya L. I. Performance indicators of the Federal subsoil fund management. *Geologiya nefi i gaza = Russian Oil and Gas Geology*. 2009;(4):61–67. (In Russ.).
5. Bobylev Yu. N., Turuntseva M. Yu. *Taxation of mineral sector of economy*. Proceedings No. 140P, Institute of Economic Policy named after E.T. Gaidar. Moscow; 2010. 200 p. (In Russ.).
6. Bogdanova E. P. Problems of reforming the Russian mining legislation, and methods for solving them proposed by A.F. Deryabin in a new mining enactment. *Bulletin of Udmurt University*. 2011;(1):116–121. (In Russ.).
7. Vasilevskaya D. V. Normative consolidation of subsoil ownership: experience and trends. *Journal of Russian Law*. 2007;8(128):58-70. (In Russ.).
8. *Speech by the Chairman of the State Committee for Investment and State Property Management of the Republic of Tajikistan Saidov D.Sh. at the panel meeting on promoting the mining industry transparency initiative in Tajikistan*. Kokhi Vahdat, July 12, 2011. Available from: <http://siteresources.worldbank.org>.
9. Glukhov A. N. *The practice of current exploration: international experience and Russian realities*. North-Eastern Complex Research Institute. Magadan: Cordis Publ.; 2007. 84 p. (In Russ.).
10. *Mining Encyclopedia, Kazakh Soviet Socialist Republic*. Available from: <http://www.mining-enc.ru/k/kazaxskaya-sovetskaya-socialisticheskaya-respublika>. (In Russ.).
11. *The Department of Mining, Industry Regulation and Safety (DMIRS) of Western Australia*. URL: <https://www.dmir.s.wa.gov.au/>
12. Yesenaliev A. E., Tokhanova R. Zh., Kozhaniyazov E. I. The concept of public administration in the field of subsoil use in the Republic of Kazakhstan. *Modern problems of science and education*. 2013;(6):7. (In Russ.).
13. Zhalelova R. Z., Pasternak A. A., Zhalelova S. Z. *Strategic management of metallurgical industry of Kazakhstan*. Almaty, Institute of Economics, National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan Publ.; 2019. 80 p. (In Russ.).
14. Zhukova I. V. The system of mining industry management in Russia: the history of formation. *Azimuth of Scientific Research: Economics and Administration*. 2018;7(3(24)):96–99. (In Russ.).
15. *The USSR Law "On the Approval of the Subsoil Framework Legislation of the USSR and the Union Republics" of July 9, 1975*. Available from: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=ESU&n=778&rnd=242442.129575489&dst=100013&fld=134#0>. (In Russ.).

16. *The Law of the Republic of Kazakhstan No. 2828 dated January 27, 1996 "On Subsoil and Subsoil Use"*. Edilet (Justice) Information and legal system of regulatory legal acts of the Republic of Kazakhstan. Available from: http://adilet.zan.kz/rus/docs/U960002828_.
17. Ibragimova G. E. The legacy of K.I. Satpayev and the prospects of the Ulytau-Zhezkazgan region. The historical place of Ulytau in the formation of the Kazakh state and national integrity. In: *Proceedings of the Republican scientific-practical conference*. Astana; 2006. P.73–81. (in Kazakhstani).
18. *Australian Information System AUSGIN Geoscience Portal*. Available from: <http://portal.geoscience.gov.au/gmap.html>
19. *SOFRECO World Bank Study: Kazakhstan legislation regarding licensing mineral exploration rights*. July 2013. 146 p.
20. *The study of mining and metallurgical sectors of industry of the Republic of Kazakhstan*. World Bank Document. October 2001, 165 p.
21. Kimelman S. A. *Improvement of mechanisms for state management of subsoil*. Abstract of Doctoral thesis in Engineering Science. Moscow, 2004, 5 p. (In Russ.).
22. Klyukin B. D. *Subsoil use regulation in Western Europe and America (England, Canada, USA, France, Germany)*. Institute of Legislation and Comparative Jurisprudence under the Government of the Russian Federation. Moscow: Gorodets Publ.; 2000. 442 p. (In Russ.).
23. *Code of the Republic of Kazakhstan "On Subsoil and Subsoil Use" of December 27, 2017*. Edilet (Justice) Information and legal system of regulatory legal acts of the Republic of Kazakhstan. Available from: <http://adilet.zan.kz/rus/docs/K1700000125>.
24. *The Constitution (Basic Law) of the Russian Socialist Federative Soviet Republic* (approved by resolution of the XII All-Russian Congress of Soviets of May 11, 1925). Available from: http://constitution.garant.ru/history/ussr-rsfsr/1925/red_1925/.
25. Korneev A. V., Sokolov V. I. *The main forms of land ownership and the organization of access to deposits of fuel and energy and mineral resources in the USA: analytical report*. Institute of the USA and Canada, the Russian Academy of Sciences. Moscow; 2009. 10 p. (In Russ.).
26. *Kinross Gold Corporation. Attracting foreign investment in mining industry of the Russian Federation*. Financial and economic research and recommendations for the Government of the Russian Federation, prepared by the Advisory Council on Foreign Investment of the Russian Federation (FIAC). M., 2011, 86 p. (In Russ.).
27. Kournikova A. A. Foreign practice of oil industry taxation. *Vestnik Orenburg State University*. 2004;(8):118–122. (In Russ.).
28. Lektorova Yu. Yu. Sociology of public administration in the conditions of society informatization: regional experience. *PNRPU Sociology and Economics Bulletin*. 2016;(2):68–77. (In Russ.).
29. Memorandum White&Case Kazakhstan. *The principle of rational and integrated subsoil use*. Astana; 2015. 12 p. (In Russ.).
30. Miletenko N. V., Danilov A. P., Aleksandrov O.V., Dobrolyubova E.I. Project management of the development of the mineral resource base: international experience and implementation priorities in Russia. *Prospect and protection of mineral resources*. 2017;(7):3–10. (In Russ.).
31. Morgunov E. V. Subsoil Use Management in Canada. *Narodonaselenie (Moskva)*. 2014;(2):103–113. (In Russ.).
32. Nadyrbaev A. A. Current status of mineral resource base of the Republic of Kazakhstan. *Geologiya i nedropol'zovanie Kazakhstana*. 2018;1(1):14–19. (In Russ.).
33. Nakipov A. Law of the Republic of Kazakhstan “On Subsoil and Subsoil Use” of June 24, 2010: practical application. *Urist*. 2011;(6):30–32. (In Russ.).
34. *Tax Code of the Republic of Kazakhstan (Code on taxes and other mandatory payments to budget) of December 27, 2017*. Edilet (Justice) Information and legal system of regulatory legal acts of the Republic of Kazakhstan. URL: <http://adilet.zan.kz/rus/docs/K1700000120>.
35. Nikitina N. Mineral Resource Dilemma: How to Balance the Interests of Government, Local Communities and Abiotic Nature. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2014; 1(9):8632-8644. DOI: 10.3390/ijerph110908632.
36. Novikova E. V. On ancestry of mining legislation. *Subsoil Use and Law*. 2007;(14):23–28. (In Russ.).
37. *Report of the Organisation for Economic Co-operation and Development "Mining Reform in Kazakhstan: Investments, Competitiveness, Sustainable Development"*. 2017. 55 p. (In Russ.).
38. Pavlenko V. I., Selyukov V. G. Regulation of subsoil use in the Arctic countries (USA, Canada, Norway). *Arctic: ecology and economy*. 2013;(3):50–57. (In Russ.).
39. Pasechnik O. S., Romanyuk L. V. The concept and functions of public administration in subsoil use. *Scientific Notes of V. I. Vernadsky Crimean Federal University. Juridical science*. 2016;2(68)(4):97–105. (In Russ.).

40. Pelevin Yu. A. *Berg-privilegiya* [Berg privilege]. December 10, 1719. Complete collection of laws of the Russian Empire (CCL). The first collection. St. Petersburg, 1830;V(3464). Available from: http://historydoc.edu.ru/catalog.asp?cat_ob_no=15136&ob_no=15135. (In Russ.).
41. *The list of submitted applications for issuance of subsoil use licenses*. Subsoil Use Department of the Ministry of Industry and Infrastructure Development of the Republic of Kazakhstan. Available from: <http://depnedra.miid.gov.kz/ru/pages/perechen-podannyh-zayavleniy-na-licenziyu-0>
42. *Message from President of the Republic of Kazakhstan – Leader of the Nation Nursultan Nazarbayev to the people of Kazakhstan "Kazakhstan-2050 Strategy: a new political course of the established state"* dated December 14, 2012. Available from: http://www.akorda.kz/ru/events/astana_kazakhstan/participation_in_events/poslanie-prezidenta-respubliki-kazahstan-lidera-nacii-nursultana-nazarbaeva-narodu-kazahstana-strategiya-kazahstan-2050-novyi-politicheskii-
43. *Presentation material of the Ministry of Investment and Development of the Republic of Kazakhstan "Necessary reforms of tax legislation in connection with the development of the draft Code on Subsoil and Subsoil Use"*. Astana; 2016. 10 p. (In Russ.).
44. *Presentation material of the Ministry of Investment and Development of the Republic of Kazakhstan "Code on Subsoil and Subsoil Use"*. Astana; 2018. 17 p. (In Russ.).
45. *Order of the Minister of Ecology, Geology and Natural Resources of the Republic of Kazakhstan dated September 10, 2019 No. 26-O "Strategic Plan of the Ministry of Ecology, Geology and Natural Resources of the Republic of Kazakhstan for 2017–2021"*. Edilet (Justice) Information and legal system of regulatory legal acts of the Republic of Kazakhstan.
46. *Co-funded Exploration Drilling Program*. Available from: <http://www.dmp.wa.gov.au/Geological-Survey/EIS-Government-co-funded-1433.aspx>.
47. Rud V. V. Analysis of objects and economic and legal mechanisms for managing state ownership of the subsoil. *Prospect and protection of mineral resources*. 2009;(2):62–66. (In Russ.).
48. Stavsky A. An alternative concept for the development of regional geological works in Russia. Moscow: Mineral Center under the Federal State Unitary Research and Production Enterprise "Aerogeology"; March 2008. 47 p. (In Russ.).
49. *Geological Survey of Canada, Strategic Plan 2018–2023*. Available from: http://ftp.maps.canada.ca/pub/nrcan_rncan/publications/ess_sst/313/313405/gid_313405.pdf.
50. *The Structure of the United States Department of Energy*. Available from: <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2019/11/f68/eere-org-chart-110519.pdf>.
51. Suleimenov M. K. Oil Law of the Republic of Kazakhstan. *Energeticheskoe pravo*. 2007;(2):4–9. (In Russ.).
52. Tarasov R. S. Directions of Russian industrial policy in the development of mining business in the XVIII – XIX centuries. *The Humanities and social sciences*. 2012;(5):2–4. (In Russ.).
53. Takhanova S. S. Subsoil management in the Republic of Buryatia. *respect and protection of mineral resources*. 2017;(9):3–10. (In Russ.).
54. Toktabaev T. S. *Formation of an investment-attractive model of subsoil administration in mining sector of economy*. Doctoral thesis in Business Administration. Astana: JSC "KAZGYuU University"; 2017. 152 p. (In Russ.).
55. Topoev A. *About a letter from a geologist to Nursultan Nazarbayev*. Available from: <http://www.matritca.kz/news/43016-ob-odnom-pisme-geologa-nursultanu-nazarbaevu.html>.
56. Turkov O. *Geology in Kazakhstan: Prosperous past and troubled future*. Available from: <https://camonitor.kz/32521-geologiya-v-kazahstane-bogatoe-proshloe-i-smutnoe-budushee.html>.
57. Yuzhakov V. N., Talapina E. V., Aleksandrov O. V., Tikhomirov Yu. A., Dobrolyubova E. I. *The concept of the federal law on public administration in the Russian Federation*. Moscow, 2015, 96 p. (In Russ.).
58. Yazev V. A., Ermolovich M. N. *Federal and regional legal regulation of mining and processing of common minerals*. Moscow: State Duma Publ.; 2014. 160 p. (In Russ.).
59. *A Federal Strategy to Ensure Secure and Reliable Supplies of Critical Minerals*. 2018. 70 p. Available from: <https://www.courthousenews.com/wp-content/uploads/2019/06/minerals-strategy.pdf>.
60. Stedman Ashley, Green Kenneth P. *Survey of mining companies*. Fraser Institute Annual; 2018. 86 p.
61. *Extractive Industries Transparency Initiative*. Available from: <https://eiti.geology.gov.kz>.
62. *The Canadian Minerals and Metals Plan*. March 2019. 52 p. Available from: MinesCanada.ca.
63. Strauch B., Korolchenko A. Mining activities in the focus of investors Common characteristics and differences of the German, French, Russian and Japanese mining law [Bergbau im Fokus der Investoren Gemeinsamkeiten und Unterschiede des deutschen, französischen, russischen und Japanischen Bergrechts]. *World of Mining – Surface and Underground*. 2011;63(3):156–161.

64. Allanina L. M., Khairullina N. G., Zyleva N. V., Ruf Y. N., Permyakov A. V., Mikhailova M. N., Aleksanrovish G. V. Legal regulation of subsurface use – in Russia. Actual problems. *International Journal of Environmental and Science Education*. 2016;11(18):12471–12485.
65. Maralbaev A. O., Usupaev Sh. E. Legislation and regulatory framework and its improvement in subsoil use in Kyrgyzstan Information about author. *Gornyi Zhurnal*. 2016;(8):28–32. DOI: 10.17580/gzh.2016.08.05.
66. Neklyudov E. G. Evolution of legal conditions for development mining industry in the Kingdom of Poland. *Voprosy Istorii*. 2018;(5):136–148. (In Russ.).
67. *Peru Mining Law*. Available from: <http://www.iclg.co.uk/practice-Areas/mininglaw/mining-law-2016/peru>. [Accessed June 28, 2016].
68. *The Chilean Copper Commission (COCHILCO)*. Ministry of Mining, Government of Chile. Available from: <http://www.cochilco.cl/english/legislation/laws.asp>. [Accessed June 28 2016].
69. *Argentina Mining Law*. Available from: <http://www.iclg.co.uk/practice-Areas/mining-law/mining-law-2016/argentina>. [Accessed June 28 2016].
70. *Ghana Mining Law*. Available from: <https://www.africanlawbusiness.com/publications/mining-law/mining-law-2016/ghana/q-And-A>. [Accessed June 28 2016].
71. *Madagascar Mining Law*. Available from: <https://www.africanlawbusiness.com/publications/mining-law/mining-law-2016/madagascar/q-And-A>. [Accessed June 28 2016].
72. *Tanzania Mining Act*. Available from: https://mem.go.tz/wp-content/uploads/2014/02/0013_11032013_Mining_Act_2010.pdf. [Accessed June 28 2016].