

УДК 622.27

DOI: 10.21209/2227-9245-2018-24-2-14-21

СТРУКТУРА СИСТЕМНОГО МОНИТОРИНГА ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ НЕДР ПРИ ОСВОЕНИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОДЗЕМНЫМИ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНЫМИ КОМПЛЕКСАМИ

STRUCTURE OF THE SYSTEM MONITORING OF THE NATURAL ENVIRONMENT OF SUBSURFACE RESOURCES DURING THE DEVELOPMENT OF DEPOSITS BY UNDERGROUND MINING AND PROCESSING COMPLEXES



*Г. Г. Пирогов, Забайкальский государственный университет, г. Чита
pirogov.chita@mail.ru*

G. Pirogov, Transbaikal State University, Chita

В статье отмечается, что по обеспечению экологической безопасности при освоении рудных месторождений подземными горно-обогатительными комплексами (подземный ГОК) почти нет публикаций. Для отслеживания качественных и количественных изменений в природной среде недр при эксплуатации горного предприятия введено понятие *экологической системы недр*. Экологическая система недр (экосистема недр) пространственно совпадает с границами горного отвода подземного ГОК, осуществляющего освоение рудного месторождения. В экосистеме недр выделены *экологические подсистемы горного массива, шахтной водной среды и рудничной атмосферы*. Экологическая подсистема горного массива включает минеральные образования с полезными свойствами, естественные и искусственные горные массивы, естественные и искусственные подземные пустоты, а также подземные техногенные минеральные объекты. Под воздействием горных работ в горном массиве непрерывно совершаются процессы, вызывающие нарушения, как правило, необратимого характера. При разработке месторождений на базе подземных ГОК деформации в горном массиве значительно уменьшаются: полное заполнение выработанных пространств закладкой предварительно подготовленными текущими хвостами обогатительного комплекса осуществляется в ходе очистной выемки, и деформации не успевают достигнуть развития. Подсистема шахтной водной среды включает сеть подземных шахтных водотоков, наполняемых в том числе инфильтрационными водами атмосферного происхождения (паводковые, дождевые воды), и водоносные горизонты. Экологическая подсистема рудничной атмосферы не является естественной составной частью экосистемы недр. Она носит искусственный характер и имеет место при производстве подземных горных работ. Устойчивое экологически безопасное состояние экосистемы недр возможно путем создания системы мониторинга. В результате анализа подсистем горного массива, шахтной водной среды и рудничной атмосферы экосистемы недр предложена структура мониторинга подземного горно-обогатительного комплекса

Ключевые слова: *экологическая система недр; экологические подсистемы; природная среда; подземный горно-обогатительный комплекс; системный подход; горный массив; шахтная водная среда; рудничная атмосфера; управляющие факторы; структура мониторинга*

There are almost no publications on environmental safety during the development of ore deposits by underground mining and processing complexes (underground mining). To monitor qualitative and quantitative changes in the natural environment of mineral resources in the exploitation of mining enterprises introduced the concept of ecological system of the subsoil. The ecological system of the subsoil (subsoil ecosystem) spatially coincides with the boundaries of the mining allotment of underground mine, engaged in the exploration of ore deposits. In the ecosystem of the subsoil the ecological subsystems of the massif, mine water and mine atmosphere are marked out.

The environmental subsystem of the massif includes mineral formations with useful properties, natural and artificial mountain ranges, natural and artificial underground voids, and underground technogenic mineral objects. Under the influence of mining in the mountain range, the processes that cause the violation, as a rule, irreversible are continuously accomplished. When quarrying the deposits on the basis of underground mining, deformations in rock mass are significantly reduced: full-filling of mined-out spaces with a tab pre-prepared current tailings processing plant is carried out in the course of stopping and deformation do not have time to achieve development. Subsystem of mine water environment includes a network of underground mine waters, are filled, including the infiltration waters of atmospheric origin (flood, rain water) and aquifers. The environmental subsystem of the mine atmosphere is not a natural part of the ecosystem of the subsoil. It is artificial and takes place in the manufacture of underground mining. Environmentally sustainable state of the subsoil ecosystem may be performed by the establishment of a monitoring system. As a result of the analysis of the subsystems of the mountain massif, mine water and mine atmosphere ecosystems subsurface structure of the monitoring of underground mining and processing complex is suggested

Key words: *ecological system of mineral resources; environmental subsystem; natural environment; underground mining complex; system approach; rock mass; mine water environment; mine atmosphere; control factors; structure of monitoring*

Введение. Существенный вклад в развитие экологии горного производства внесли К. Н. Трубечкой, Е. И. Шемякин, В. А. Чантурия, Д. Р. Каплунов, Н. Н. Чаплыгин и многие другие исследователи. В работах [1; 2; 5; 6; 9; 10; 12–16] решались вопросы оценки техногенных воздействий горных предприятий на окружающую среду, рационального природопользования, обеспечения экологической безопасности. Названные публикации преимущественно относятся к открытым горным работам, что отражает соотношение способов разработки месторождений полезных ископаемых, сложившееся в настоящее время. Рассматриваются различные аспекты экологических последствий производственной деятельности горных предприятий. Системный подход к решению задач контроля, оценки и прогнозирования возможного ущерба окружающей среде от подземной разработки рудных месторождений используется в выполненных исследованиях недостаточно. Почти нет публикаций по обеспечению экологической безопасности при освоении рудных месторождений подземными горно-обогатительными комплексами.

Предлагаемые решения. Природная среда недр существует и развивается под влиянием протекающих естественных процессов и, при невмешательстве человека, находится в равновесном состоянии. Главными компонентами среды являются минеральные ресурсы в твердом, жидком или га-

зообразном состоянии, горные массивы, а также различные микроорганизмы. Периодически в естественной экологической системе недр под воздействием накопленной глубинной энергии Земли, тектонических, физико-химических процессов вызываются возмущения. Возмущенная природная среда постепенно восстанавливается, вновь приходит в равновесное состояние, но на качественно новом уровне: новые минеральные объекты (пресные, термальные, минеральные воды; месторождения полезных ископаемых), меняется геодинамическое, геомеханическое состояние недр [8; 11].

Радикальные изменения в природную среду недр вносит производственно-хозяйственная деятельность, связанная с разработкой месторождений полезных ископаемых, сопровождаемая истощением минеральных ресурсов, осушением недр, деформациями горных массивов с выходом нарушений иногда на земную поверхность, изменениями рельефа [9]. Для отслеживания качественных и количественных изменений в природной среде недр при эксплуатации горного предприятия представляется целесообразным ввести понятие *экологической системы недр*. Экологическая система недр (далее – экосистема недр) пространственно совпадает с границами горного отвода подземного горно-обогатительного комплекса (подземного ГОК), осуществляющего освоение рудного месторождения.

Для качественной и количественной сравнительной оценки экосистемы недр подземного ГОК возможно использование следующих традиционных общеизвестных показателей, а также предлагаемых нами:

- коэффициент потерь руды;
- коэффициент извлечения полезного компонента из недр;
- коэффициент изменения качества руды.

В качестве показателя, дополняющего традиционные при общей характеристике качественного состояния экосистемы недр, предлагается коэффициент полноты закладки выработанных пространств, равный

$$K_{зпн} = \Sigma V_{звп} / \Sigma V_{нгв}, \quad (1)$$

где $\Sigma V_{звп}$ – общий объем всех заложённых выработанных пространств, м³;

$\Sigma V_{нгв}$ – общий объем горных выработок подземного ГОК, м³.

В целях эффективной организации службы мониторинга в экосистеме недр представляется целесообразным выделить следующие *экологические подсистемы: горного массива, шахтной водной среды и рудничной атмосферы.*

Экологическая подсистема горного массива содержит минеральные образования с полезными свойствами, естественные и искусственные горные массивы, естественные и искусственные подземные пустоты, а также подземные техногенные минеральные объекты. Под воздействием горных работ в горном массиве непрерывно совершаются процессы, вызывающие крупные нарушения, как правило, необратимого характера. При разработке рудных месторождений на базе подземных ГОК деформации в горном массиве значительно уменьшаются: полное заполнение выработанных пространств закладкой предварительно подготовленными текущими хвостами обогатительного комплекса осуществляется в ходе очистной выемки и деформации не успевают достигнуть существенного развития. Перманентно происходит своеобразная рекультивация нарушенного массива – восстановление его

целостности. Управляющими факторами качественного состояния подсистемы служат полнота выемки количества и качества полезных ископаемых и степень нарушения горного массива (обрушения пород, вторичное трещинообразование, техногенные подземные пустоты).

Подсистема шахтной водной среды включает сеть подземных шахтных водотоков, наполняемых в том числе инфильтрационными водами атмосферного происхождения (паводковые, дождевые воды), и водоносные горизонты. На рудниках дебит водопритоков варьирует в достаточно широком диапазоне. На Николаевском – 140 м³/ч, Дарасунском – 140 м³/ч, Многовершинном золоторудном, расположенном в области достаточно обильных дождевых, снежных осадков, шахтный водоприток колеблется в пределах 400...1500 м³/ч. Известны значительные водопритоки на железорудных месторождениях Курской магнитной аномалии, достигающие 2000...3000 м³/ч [12]. В ходе ведения горных работ наблюдаются нарушения гидрологической сети, часто связанные с подработкой водоносных горизонтов. Снижение последствий от техногенных воздействий в подсистеме шахтной водной среды, предотвращение загрязнений, уменьшение отходов горного производства (шахтные воды) достигаются организацией замкнутого внутришахтного водооборота с использованием шахтных вод после соответствующей очистки для технических целей (бурение шпуров, скважин; орошение горной массы; пылеподавление).

В случае освоения месторождений подземными ГОК подсистема шахтной водной среды становится многофункциональной: в процессах водообмена, кроме шахтных вод, участвуют технологические, фильтрационные из закладочных массивов, утечки во вмещающие породы и др. Шахтный замкнутый водооборот подземного ГОК представляет собой достаточно сложную производственную систему. Водный баланс системы шахтного замкнутого водооборота подземного ГОК можно представить в следующем виде:

$$Q_{иш} + Q_{исх} + Q_{подп} = Q_{то} + Q_{ти} + Q_{тф} + Q_{тг} + Q_{ты}, \quad (2)$$

где $Q_{иш}$ — шахтный водоприток;

$Q_{исх}$ — количество воды, поступающей с исходным сырьем;

$Q_{подп}$ — количество воды, подпитывающей систему замкнутого водооборота;

$Q_{то}$ — остаточная технологическая вода в складочных массивах;

$Q_{ти}$ — потери технологической воды на испарение. В шахтных условиях, когда относительная влажность рудничного воздуха близка или равна 100 %, этой величиной в связи с ее малостью можно пренебречь;

$Q_{тф}$ — технологические фильтрационные воды из складочных массивов очистных блоков;

$Q_{тг}$ — избыточная технологическая вода, отделяемая от хвостов обогащения в процессе их обезвоживания в гидроциклонах;

$Q_{ты}$ — утечки технологических вод во вмещающие породы при возведении складочных массивов; техническими мерами (создание противофильтрационных завес, экранирование и т.п.) они должны быть исключены, так как могут содержать вредные загрязняющие вещества, остаточные растворы реагентов. Размерность всех величин равенства (2) — м³/ч. Левая часть равенства представляет приходную часть водного баланса (водопоступление), правая — расходную (водоотведение).

Управляющими факторами подсистемы служат степень утилизации шахтных вод и промышленного загрязнения шахтной водной среды.

Экологическая подсистема рудничной атмосферы не является естественной составной частью экосистемы недр. Она носит искусственный характер и имеет место только в случае производства подземных горных работ. Ее социальное и промышленное значение определяется тем, что рудник, а при освоении месторождений подземными ГОК — и обогатительный комплекс являются средой жизнедеятельности человека.

Управляющими факторами качественного состояния экологической подсистемы

«рудничная атмосфера подземного ГОК» являются температура, количество и скорость движения свежего воздуха, содержание пыли и газов на рабочих местах и в вентиляционном потоке, исходящем из вентиляционных стволов рудника и обогатительного комплекса.

Качественное состояние экологических подсистем и экологической системы недр в целом должно отвечать требованиям экологической безопасности, обеспечивающим защищенность и сохранность окружающей среды от техногенных воздействий.

Устойчивое экологически безопасное состояние экосистемы недр возможно обеспечить созданием системы мониторинга. В результате анализа подсистем горного массива, шахтной водной среды и рудничной атмосферы экосистемы недр нами предложена принципиальная схема структуры мониторинга подземного горно-обогатительного комплекса (ПГОК), которая представлена далее на рисунке. Основу мониторинга составляют лаборатории и подразделения, существующие на горных предприятиях с подземной добычей руд.

В таблице представлена в общем виде структура мониторинга экологической системы недр при разработке рудных месторождений на базе использования подземных горно-обогатительных комплексов.

На основании выполненного анализа техногенных воздействий на экологическую систему недр в основные направления мониторинга подсистемы горного массива нами включены изучение распределения напряжений во вмещающем породном массиве, установление сдвижения горных пород, контроль состояния технологических камер обогатительного комплекса, капитальных и подготовительных выработок, выявление концентраций напряжений в зонах ведения подготовительных и очистных работ, наблюдения за состоянием складочных массивов, наблюдения за геохимическими изменениями в подземных техногенных минеральных объектах.

В новой горнотехнической системе, сформированной на основе подземного горно-обогатительного комплекса, шахтная

водная среда характеризуется существенными качественными и количественными изменениями. К шахтным водам добавляются технологические воды обогатительного комплекса, содержащие вредные вещества. Появляется проблема накопления и последующего поддержания количества воды в системе внутришахтного замкнутого водооборота (2), необходимого для технологических процессов обогащения, а также гидравлической закладки. В зависимости от метода обогащения руд черных и

цветных металлов удельный расход воды на 1 т руды составляет 10... 60 м³ и более. В структуру мониторинга подсистемы шахтной водной среды нами включены выявление и контроль водоносных горизонтов и подземных водотоков, контроль водного баланса, качества очистки шахтных и технологических вод в системе замкнутого водооборота, выявление утечек во вмещающие породы, контроль очистки сточных поверхностных вод подземного горно-обогатительного комплекса.



Принципиальная схема структуры мониторинга подземного горно-обогатительного комплекса / Schematic diagram of the structure of monitoring the underground mining and processing complex

На подземных рудниках существует пылевентиляционная служба, накопившая большой опыт и технические средства управления качественным состоянием рудничной атмосферы.

Пределы мониторинга подсистемы рудничной атмосферы в горнотехнической системе подземного горно-обогатительного комплекса значительно расширены вследствие включения в нее атмосферы подземного обогатительного комплекса.

Процессы обогащения сопровождаются значительными образованиями пыли и газов, содержащих вредные и токсичные вещества. Кроме традиционных направлений контроля качества рудничной атмосферы, нами дополнительно предлагаются направления контроля содержания пыли и газов на рабочих местах в технологических камерах, в исходящей струе обогатительного комплекса, микроклимата в технологических камерах комплекса.

Структура системного мониторинга природной среды недр при освоении рудных месторождений подземными горно-обогатительными комплексами / Structure of the environmental monitoring of subsoil during development of mineral deposits underground mining and processing complexes

Мониторинг подсистемы горного массива / Subsystem Monitoring mountain range	Мониторинг подсистемы шахтной водной среды / Subsystem monitoring mine water	Мониторинг подсистемы рудничной атмосферы / Monitoring subsystems mine atmosphere
Напряжения в массиве / Stresses in the array	Водоносные горизонты / Aquifers	Пыли и газы на рабочих местах / Dusts and gases at workplaces
Сдвигения горных пород / Rock shifts	Шахтные водотоки / Shaft watercourses	Пыли и газы в технологических камерах / Dusts and gases in technological chambers
Состояние крепи в горных выработках / Condition of support in mine workings	Фильтрационные воды / Filtration waters	Пыли и газы в исходящей струе рудника / Dusts and gases in the outgoing stream mine
Состояние крепи в технологических камерах / Condition of support in technological chambers	Очистка шахтных и технологических вод / Cleaning of mine and process water	Пыли и газы в исходящей струе обогатительного комплекса / Dusts and gases in the outgoing stream enrichment complex
Горные удары / Mountain blows	Водный баланс / Water balance	Выделение газов из горного массива / Emission of gases from mountain range
Состояние складочных массивов / Condition storage arrays	Система замкнутого водооборота / Closed system water turnover	Выделение газов из горной массы / Emission of gases from rock mass
Трещинообразование в горных породах / Cracking in rocks	Утечки вод во вмещающие горные породы / Water leakage into the enclosing rocks	Образование пыли и газов при обогащении / Dust formation and gases at enrichment
Геомеханические изменения ПТМО / Geomechanical changes in UM-ММО	Сточные воды рудничного поверхностного комплекса / Wastewater mine surface complex	Параметры рудничной атмосферы / Mine parameters atmosphere
Тепловое поле горного массива / Thermal field mountain range		Микроклимат в технологических камерах ОК / Microclimate in technological EK chambers

Выводы. Освоение рудных месторождений подземными горно-обогатительными комплексами осуществляется на более высоком уровне экологической безопасности: существенно сокращается накопление вредных и токсичных веществ на земной поверхности; технологии подземной выемки руд в системах с открытым выработанным пространством, с обрушением вмещающих пород заменяются малоотходной технологией с полной закладкой выработанного пространства с использованием хвостов обогатительных комплексов; шахтные и технологические воды функционируют в системе внутришахтного замкнутого

водооборота; осуществляется рациональное природопользование: высвобождаются площади земной поверхности, осваивается подземное пространство. Предложенная структура мониторинга подземного горно-обогатительного комплекса, включающая подсистемы горного массива, шахтной водной среды и рудничной атмосферы, способствует сохранению качественного состояния окружающей среды. Основу мониторинга могут составлять лаборатория геомеханики, химическая лаборатория, отдел рудничной пылевентиляционной службы, специалисты: горные инженеры, геомеханики, гидрогеологи.

Список литературы

1. Абрамов В. Ф., Лушников В. И., Сажнев А. А. Перспективы применения подземной разработки с предконцентрацией в горных выработках // Материалы Всесоюзной науч.-техн. конф. Алма-Ата, 1986. С. 152–153.
2. Абрамов В. Ф., Лушников В. И., Сажнев А. А. Опыт разработки месторождений с подземным обогащением руды на зарубежных рудниках // Цветная металлургия. 1984. № 12. С. 71–72.
3. Агошков М. И., Терпogosов З. А. Рациональное освоение месторождений твердых полезных ископаемых // Технико-экономическая эффективность комплексного освоения месторождений. М.: ИПКОН АН СССР, 1987. – С. 6–19.
4. Антоненко Л. К., Зотеев В. Г. Проблемы безопасной эксплуатации хвостохранилищ и пути их решения // Горный журнал. 1998. № 1. С. 65–67.
5. Бодров С. С., Пермяков Р. С. Оценка воздействия горного предприятия на окружающую среду // Горный журнал. 1997. № 1. С. 50–54.
6. Васильчук М. П., Трубецкой К. Н., Ильин А. М. Недр и основные положения экологической безопасности их освоения // Горный журнал. 1995. № 7. С. 17–21.
7. Ельников В. Н., Лейзерович С. Г., Усков А. Х. Результаты первого этапа опытных работ по подземному складированию текущих хвостов обогащения на комбинате «КМАРУДА» // Горный информ.-аналит. бюл. 2000. № 5. С. 27–29.
8. Исаев Ю. С., Мулев С. Н. Опыт создания систем геодинамического мониторинга на горных предприятиях // Горный журнал. 1999. № 10. С. 22–25.
9. Каплунов Д. Р. Актуальные проблемы подземной разработки рудных месторождений // Горный журнал. 1995. № 1. С. 46–49.
10. Певзнер М. Е. Горно-экологический мониторинг окружающей среды // Горный журнал. 1994. № 6. С. 48–51.
11. Селивоник В. Г., Щадрин М. А., Микулин Е. И. Мониторинг геомеханической обстановки на шахтах // Горный журнал. 1999. № 5. С. 12–16.
12. Хомяков В. И. Повышение эффективности подземной разработки руд черных металлов. М.: Недра, 1989. 169 с.
13. Цыганков Д. А. Оценка воздействия подземных рудников Горной Шории и Хакасии на экосреду // Горный журнал. 2000. № 1. С. 62–65.
14. Чапльгин Н. Н. Проблемы экологизации освоения недр и новые подходы к ее обоснованию // Горный журнал. 1996. № 4. С. 42–46.
15. Чернегова Ю. Е., Бебчук Б. Ц. Экологические проблемы и комплексное освоение недр // Горный журнал. 1998. № 1. С. 44–47.
16. Pulz K. Meeting the challenges and implementing the management objectives of lignite mining rehabilitation. 2014. Vol. 66. P. 153–159.

References

1. Abramov V. F., Lushnikov V. I., Sazhenev A. A. Materialy Vsesoyuznoy nauch.-tekhn. konf. (Proceedings of the All-Union Scientific and Technical Conference. Conf.). Alma-Ata, 1986, pp. 152–153.
2. Abramov V. F., Lushnikov V. I., Sazhenev A. A. Tsvetnaya metallurgiya (Non-ferrous metallurgy), 1984, no. 12, pp. 71–72.
3. Agoshkov M. I., Terpogosov Z. A. Tekhniko-ekonomicheskaya effektivnost kompleksnogo osvoeniya mestorozhdeniy (Technical and economic efficiency of complex development of deposits). Moscow: IPKON AS USSR, 1987. P. 6–19.
4. Antonenko L. K., Zoteev V. G. Gornyy zhurnal (Mining Journal), 1998, no. 1. pp. 65–67.
5. Bodrov S. S., Permyakov R. S. Gornyy zhurnal (Mining Journal), 1997, no. 1, pp. 50–54.
6. Vasilchuk M. P., Trubetskoi K. N., Ilin A. M. Gornyy zhurnal (Mining Journal), 1995, no. 7, pp. 17–21.
7. Elnikov V. N., Leyzerovich S. G., Uskov A. H. Gornyy inform.-analit. byul. (Mining inform bulletin), 2000, no. 5, pp. 27–29.
8. Isaev Yu. S., Mulev S. N. Gornyy zhurnal (Mining Journal), 1999, no. 10, pp. 22–25.
9. Kaplunov D. R. Gornyy zhurnal (Mining Journal), 1995, no. 1, pp. 46–49.
10. Pevzner M. E. Gornyy zhurnal (Mining Journal), 1994, no. 6, pp. 48–51.
11. Selivonik V. G., Shechadrin M. A., Mikulin E. I. Gornyy zhurnal (Mountain Journal), 1999, no. 5, pp. 12–16.
12. Khomyakov V. I. Povyshenie effektivnosti podzemnoy razrabotki rud chernykh metallov (Increase of efficiency of underground mining of ferrous ores). Moscow: Nedra, 1989. 169 p.

13. Tsygankov D. A. Gornyj zhurnal (Mining Journal), 2000, no. 1, pp. 62–65.
14. Chaplygin N. N. Gornyj zhurnal (Mining Journal), 1996, no. 4, pp. 42–46.
15. Chernegova Yu. E., Bechuk B. C. Gornyj zhurnal (Mining Journal), 1998, no. 1, pp. 44–47.
16. Pulz K. Meeting the challenges and implementation of the management of lignite mining rehabilitation (Meeting the challenges and implementation of the management of lignite mining rehabilitation), 2014, vol. 66, pp. 153–159.

Коротко об авторе

Briefly about the author

Пирогов Геннадий Георгиевич, д-р техн. наук, профессор кафедры «Подземная разработка месторождений полезных ископаемых», Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия. Область научных интересов: научное обоснование и создание новых технологий разработки рудных месторождений
pirogov.chita@mail.ru

Gennady Pirogov, doctor of technical sciences, professor, Underground development of mineral deposits deposits, Transbaikal State University, Chita, Russia. Sphere of scientific interests: scientific justification and creation of new technologies for the development of ore deposits

Образец цитирования

Пирогов Г. Г. Структура системного мониторинга природной среды недр при освоении месторождений подземными горно-обогатительными комплексами // Вестн. Забайкал. гос. ун-та. 2018. Т. 24. № 2. С. 14–21. DOI: 10.21209/2227-9245-2018-24-2-14-21.

Pirogov G. Structure of the system monitoring of the natural environment of subsurface resources during the development of deposits by underground mining and processing complexes // Transbaikal State University Journal, 2018, vol. 24, no. 2, pp. 14–21. DOI: 10.21209/2227-9245-2018-24-2-14-21.

Статья поступила в редакцию: 05.02.2018 г.
Статья принята к публикации: 27.02.2018 г.

