

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ КОМПЛЕКСНЫХ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЛЯ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ОСУШЕНИЯ ОБВОДНЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

В.В. Мельник¹, Т.Ф. Харисов¹, А.Л. Замятин¹

¹ Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук (ИГД УрО РАН)

Аннотация: В настоящей статье приведены примеры комплексного подхода к изучению геомеханических особенностей месторождений полезных ископаемых, отвечающих за фильтрационные свойства массива горных пород и, как следствие, повышенную обводненность месторождения в целом. С учетом характеристик, влияющих на водопроницаемость горного массива, представляется возможным выбирать параметры системы осушения месторождения таким образом, чтобы минимизировать затраты на создание водозабора за счет точечного расположения водопонижающих скважин. В качестве основных поисковых признаков водоносных зон выступают структурно-тектонические нарушения, обладающие современной геодинамической подвижностью, за счет которой водоносные трещины и карсты в карстующихся породах остаются раскрытыми и не заполняются глинистыми и песчаными материалами. Границы зон структурно-тектонических нарушений и их простирание хорошо выявляются наземными геофизическими методами, такими как электроразведка (границы нарушений) и спектральное сейсмопрофилирование (глубина распространения зон повышенной трещиноватости). В качестве геодезических методов исследования современной геодинамической активности предлагается использовать спутниковую геодезию как наиболее эффективный способ определения координат на больших базах. Приведенные в работе примеры осушения месторождений с использованием предлагаемого подхода показали свою высокую эффективность при минимальных затратах на создание водозаборных сооружений. Наибольший эффект данная методика позволяет получить в условиях водоносных горизонтов, связанных со скальным горным массивом, особенно в условиях распространения карста.

Ключевые слова: водоносный горизонт, водопритоки, скважина, открытые горные работы, деформации уступов карьера, снижение обводненности, иглофильтр, шахта, водопонижение.

Благодарность: Работа выполнена в рамках Госзадания № 075–00581–19–00 Тема № 0405–2019–0007.

Для цитирования: Мельник В.В., Харисов Т.Ф., Замятин А.Л. Методические основы комплексных геомеханических исследований для выбора оптимальных параметров осушения обводненных месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 3-1. – С. 127–137. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-31-0-127-137.

Methodological bases of complex geomechanical studies for selecting optimal parameters of drainage of waterlogged areas fields

V.V. Melnik¹, T.F. Harisov¹, A.L. Zamyatin¹

¹ The Institute of Mining of the Ural branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

Abstract: This article provides examples of an integrated approach to the study of the geomechanical features of mineral deposits responsible for the filtration properties of a massif and, as a result, increased water cut of the field as a whole. Having knowledge of a number of characteristics that affect the water conductivity of the massif, it seems possible to select the parameters of the drainage system of the field in such a way as to minimize the cost of creating an intake due to the point arrangement of water-reducing wells. Structural-tectonic disturbances with geodynamic mobility, due to which aquifers and caverns in karst rocks remain open and are not filled with clay and sand materials, are the main search features of aquifers. The boundaries of the zones of structural-tectonic disturbances and their spread are well detected by ground-based geophysical methods, such as electrical exploration (boundaries of disturbances) and spectral seismic profiling (depth of propagation of zones of increased fracturing). It is proposed to use satellite geodesy as the most effective way to determine coordinates at large bases as geodetic methods for studying modern geodynamic activity. The examples of dewatering the fields using the proposed approach have shown their high efficiency at minimal cost for the creation of water intake facilities. This technique allows you to get the greatest effect under the conditions of aquifers confined to the rocky mountain range, especially in conditions of karst propagation.

Key words: aquiferous horizon, water inflows, well, open-cast mining, deformations of berm, improve sustainability, wellpoint, mine, water depression.

For citation: Melnik V.V., Harisov T.F., Zamyatin A.L. Methodological bases of complex geomechanical studies for selecting optimal parameters of drainage of waterlogged areas fields. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(3-1):127-137. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-31-0-127-137.

Введение

Обработка месторождений полезных ископаемых неразрывно связана с осушением породного массива для обеспечения безопасности работ и повышения качества самого полезного ископаемого. В большинстве случаев для ведения горных работ достаточно использование водоотлива из зумпфа в карьерах или дренажных выработок в подземных условиях обработки. Однако встречаются месторождения, где над полезным ископаемым залегает множество водоносных горизонтов, зачастую не позволяющих вести строительство рудника в плановом режиме. Требуется дополнительные мероприятия по осушению массива горных пород либо специальные методы проходки, такие как заморозка, тампонаж и другие. Важность водопонижения отмечена в трудах [1, 2].

Несмотря на огромный накопленный опыт обработки обводненных месторождений, до сих пор встречаются случаи, когда неправильно

выбранный на стадии проектирования вариант проходки горных выработок затягивает сроки строительства и приводит к существенным материальным затратам. Ярким примером может служить один из рудников Казахстана, где проходка ствола из-за недооценки геомеханических характеристик горного массива, сопровождающихся его современной геодинамической подвижностью, была практически остановлена, несмотря на огромные прилагаемые усилия по подавлению воды различными составами. Дело в том, что при активном ведении взрывных работ с дополнительными нагрузками от современной геодинамики такой метод гидроизоляции оказался малоэффективным. Эти нагрузки привели к регулярным нарушениям сплошности затампонированного пристволового пространства и, как следствие, подтоплению ствола, сопровождаемому остановкой проходки и откачкой воды. Таких последствий можно было бы избежать, применив на стадии про-

ектирования и начала строительства осушение пристволового пространства из поверхностных водозаборов, тем более, что глубина основных водопритоков не превышала 150 метров.

Опыт подобного осушения коллективом отдела геомеханики с участием автора как в условиях строительства шахт, так и при ведении открытых горных работ накоплен достаточный, получены положительные результаты, часть из которых уже опубликована [3].

Цель представленных исследований заключается в использовании знаний о геомеханическом состоянии массива горных пород, вмещающего рудное тело, для выбора наиболее эффективных параметров системы осушения месторождений.

Задача исследований заключается в проведении необходимого объема геодезических, геофизических и гидрогеологических работ для получения знаний о структурно-тектоническом строении и геомеханическом состоянии горного массива, достаточного для разработки проекта осушения месторождения с минимальными финансовыми затратами при высокой эффективности.

Методы исследований

В основу подхода к осушению месторождений положена методика, разработанная в рамках фундаментальных исследований коллектива. Она заключается в использовании знаний о геомеханическом состоянии вмещающего массива, исследовании его современной геодинамической активности и гидродинамических характеристик в совокупности с получаемой геофизическими методами информации об его структурно-тектоническом строении. Вся эта информация позволяет выбирать точечные места расположения скважин водопонижения для повышения их производительности и как след-

ствие снижения себестоимости самого осушения.

Геомеханические особенности месторождения, используемые для прогнозирования водопритоков в горные выработки:

1. Параметры напряженно-деформированного состояния (НДС) горного массива и их изменение во времени;

2. Структурно-тектоническое строение массива горных пород;

3. Современная геодинамическая активность тектонических нарушений;

4. Обводненность месторождения, обусловленная как наличием водоносных горизонтов, так и присутствием вышеперечисленных особенностей горного массива, непосредственно влияющих на его фильтрационные свойства.

Параметры НДС и современная геодинамическая активность на месторождениях исследуются с использованием современных геодезических методов и оборудования спутниковой геодезии [4–7]. Структурно-тектоническое строение месторождения и наиболее вероятные пути фильтрации воды в горные выработки [8] выявляются с использованием как фондовой геологической информации, так и геофизических методов непосредственно в горном массиве [9–13].

В качестве наиболее информативного метода о структурно-тектоническом строении массива горных пород рекомендуется использовать электроразведку в различных ее комплексах. В отделе геомеханики для выявления аномалий строения по площади используется метод срединного градиента, по глубине — вертикальное электрическое зондирование и электротомография в зависимости от необходимой детальности и сроков выполнения исследований. В качестве дополнительного метода, дающего информацию о глубинах распространения основной трещиноватости и как следствие

обводненности, используется метод спектрального сейсмопрофилирования, детальная информация о котором приведена на электронном ресурсе [14].

Результаты исследований

Одним из ярких примеров используемого подхода к осушению месторождений, отрабатываемых подземным способом, является работа, проведенная на Узельгинском месторождении Республики Башкортостан.

Основная задача выполняемой работы заключалась в минимизации возможных водопритоков в горные выработки с помощью организации скважинного водозабора с минимальным количеством материальных затрат на его сооружение [3].

Объем возможного водопритока прогнозировать было сложно, поскольку при работе скважинного водозабора, состоящего из двух скважин (№6 и №8), работающего на нужды предприятия для хозяйственного водоснабжения, снижение уровня воды не превышало 5 метров в год, хотя общий дебит был на уровне 160–180 м³/час. При этом водозаборные скважины располагались в пределах области развития возможных деформаций от подземных горных работ, что само по себе ставило под сомнение их работоспособность при начале подземных горных работ.

Степень опасности карстов с позиций аварийных прорывов в горные выработки определяется статическим объемом подземных вод и фильтрационными свойствами известняков, определяющими скорость срабатывания статического запаса и динамический приток [15]. При современных уровнях подземных вод в известняках, составляющих около 100–120 м, начальный излив вод из карстовых полостей может находиться в пределах первой тысячи м³/час, что представляет серьезную опасность для подземных работ.

В связи с этим, вскрытие карстовых структур могло создать длительную аварийную обстановку, способную растянуться на несколько лет.

Анализ всей имеющейся информации по разведке, наблюдательным скважинам и другим материалам позволил определить направление основного водопритока (северо-запад), а комплекс проведенных геофизических исследований помог выбрать оптимальные места бурения водопонижающих скважин (рис. 1).

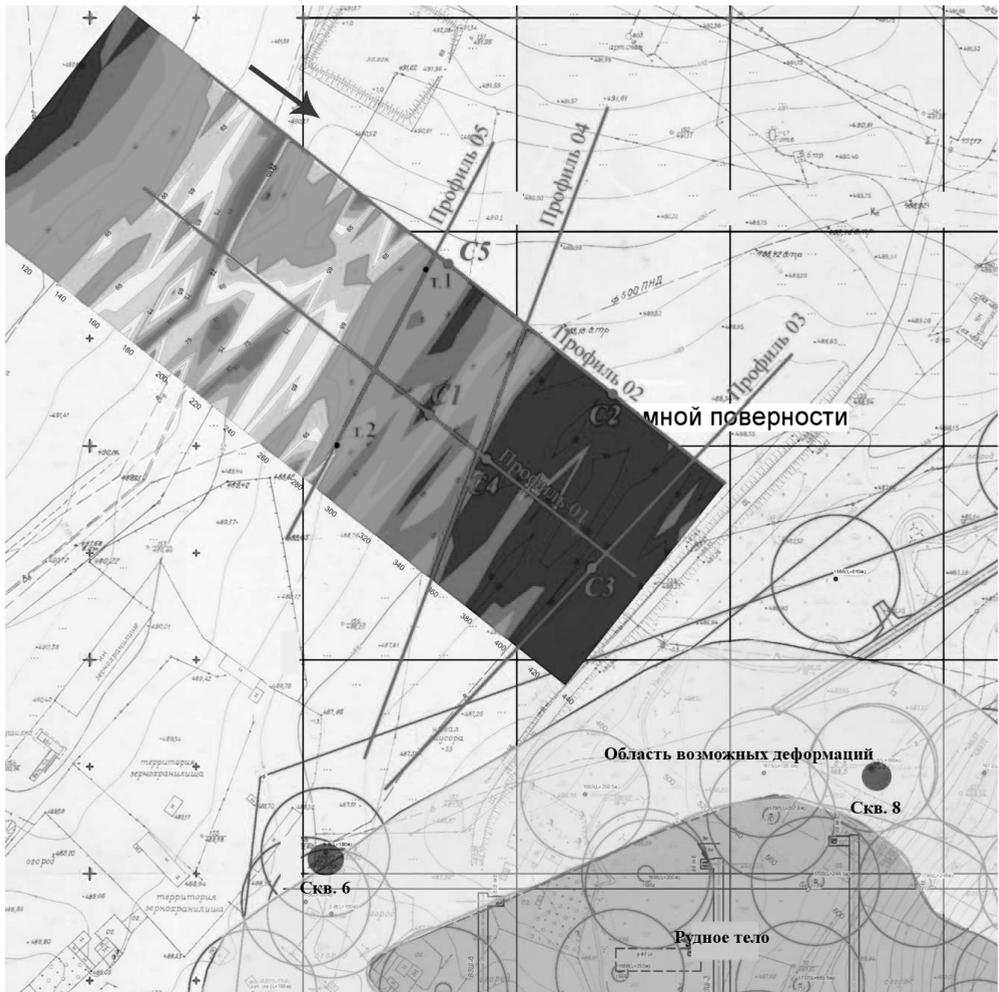
На рисунке показана геоэлектрическая модель участка по результатам электрометрии в варианте метода срединного градиента. Там же приведены профильные линии спектрального сейсмопрофилирования, по которым определялась основная трещиноватость, связанная с карстообразованием.

В качестве стимулятора карстообразования и выноса суглинистого заполнителя из трещин и карстовых пустот на данном объекте выступают в первую очередь вышеупомянутые скважины, поддерживающие воду в постоянном движении. Дополнительный толчок карстопроявлениям должно было дать начало отработки рудного тела в связи с формированием депрессионной воронки.

Первые же пробуренные разведочные скважины (точки С1 и С2) показали полное соответствие прогнозного разреза и дебит, превышающий 100 м³/час.

На основании наблюдений за уровнем в скважинах был сделан вывод о полной отработке статических запасов до глубины порядка 130 м от поверхности земли, динамический приток порядка 40–50 м³/час.

Поскольку насосное оборудование глубже не опускается, сохранились в потолочине между рудным телом и динамическим уровнем в скважинах закарстованные карманы, где может находиться достаточно приличный объем статической воды.



Условные обозначения

- С1 - скважина 15-В**
- С2 - скважина 16-В**
- С3, С4, С5 - альтернативные точки заложения скважин (не потребовались)**
- - профили метода спектрального сейсмопрофиллирования
- - планшет метода срединного градиента
- - направление движения подземных вод

Рис. 1. Выбор точек бурения скважин при помощи геофизики

Fig. 1. Selecting drilling points with using geophysics

Один из таких карманов (рис. 3) был вскрыт при проходке очередной закладочной выработки по кровле рудного тела с мгновенным выходом воды с глиной в объеме порядка 3000 м³.

В результате бурения в точке С1 эксплуатационной скважины 15-В и начале ее эксплуатации уровень во всех скважинах начал резко падать (до 5 м/мес.), что позволило примерно

определить общий объем поступления воды.

Ввод в эксплуатацию скважины № 15-В привел к ежемесячному понижению уровня в скважинах № 6, 8 и 15-В в пределах 1,5 – 2,2 метров, что поставило под сомнение дальнейшее использование водозабора в целях водоснабжения.

Ввод в эксплуатацию второй скважины № 16-В, пробуренной в точке С2, в течение 10 дней позволил полностью осушить скважину № 8, и, как показали пробные откачки, при наблюдении за уровнем воды в скважинах, появилась возможность регулирования интенсивности откачек. На рис. 2 представлен геологический разрез по участку после ввода в эксплуатацию новых скважин.

Прорыв произошел в момент производства взрывных работ, это предопределило отсутствие людей в непосредственной близости от объекта, поэтому никто не пострадал. Далее приток воды из образовавшейся карстовой полости снизился до уровня 40 – 50 м³/ч, что соответствует динамическому притоку, наблюдаемому по скважинам водоснабжения.

Вскрытая полость была успешно затампонирована и в настоящее время опасности не представляет. Отработка ведется в штатном режиме, однако введены специальные мероприятия по бурению опережающих скважин перед проходкой каждой выработки.

Такой же подход к осушению месторождений специалистами отдела геомеханики ИГД УрО РАН был применен при открытых горных работах, на карьерах месторождений хризотил-асбеста в Республике Казахстан и России.

Применения точечных методов в данном случае осложняется большой площадью выработанного пространства при сравнительно небольших (первая сотня м³/час) водопритоках в карьере,

что делает поиск источников обводнения достаточно проблематичным.

Здесь на помощь приходят данные о напряженно-деформированном состоянии площади месторождения [5, 6], полученные с помощью методов спутниковой геодезии наряду с выявленными при помощи геофизических методов структурно-тектоническими нарушениями (рис. 4).

Знания о современной геодинамической активности помогают выбирать наиболее открытые, за счет подвижности трещины, и карстовые пустоты, являющиеся каналами для движения подземных вод.

Кроме того, на каждом месторождении имеются наблюдательные гидрогеологические скважины, по паспортам которых можно предварительно определить наиболее вероятное расположение основных водоносных комплексов.

Так на Джетыгаринском месторождении хризотил-асбеста при размерах карьера 4,0х1,5 км удалось вычислить участок, где разведочные скважины показали дебит, превышающий 100 м³/ч, при общем водоотливе из карьера чуть больше этого показателя. Пробная откачка из одной из двух пробуренных на этом участке промышленных скважин водопонижения показала снижение уровня в наблюдательных скважинах на расстоянии порядка 1,5 км по фронту борта карьера. В настоящее время ведутся работы по строительству скважинного водозабора и прудка накопителя-испарителя.

Учитывая хорошее качество воды, выявленное в процессе опробования скважин, было рекомендовано использовать откачиваемую воду для технического водоснабжения предприятия.

На Киембаевском месторождении хризотил-асбеста также была проведена подобная работа, в которой удалось выявить область основных водопритоков,

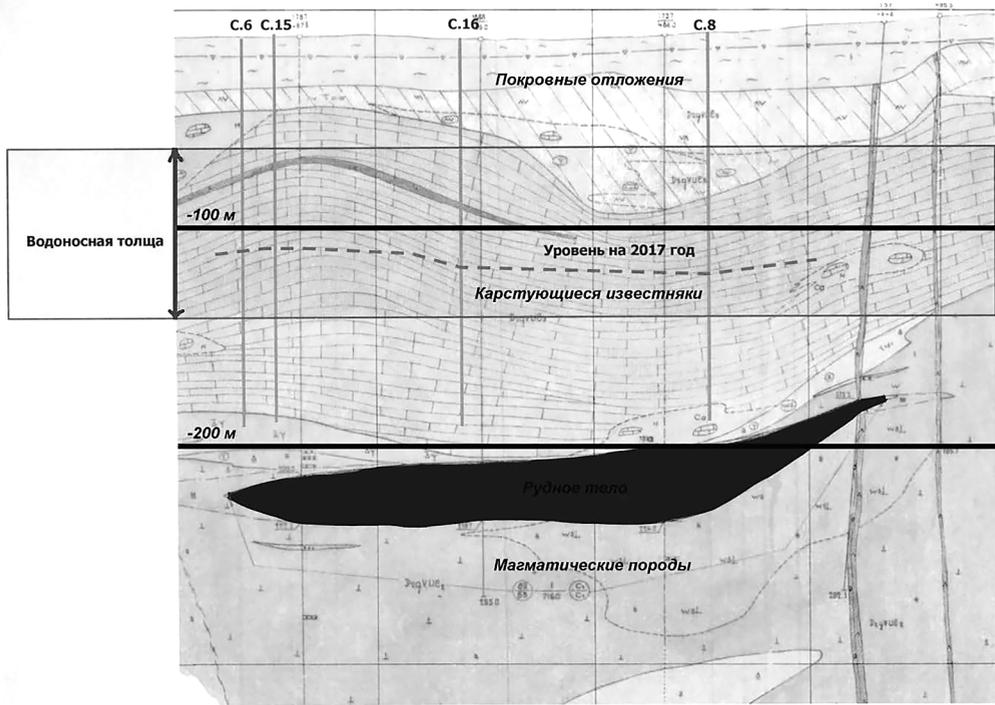


Рис. 2. Геологический разрез по рудному телу
 Fig. 2. Geological section through the ore body



Рис. 3. Вскрытая карстовая полость
 Fig. 3. Opened cavern



Рис. 4. Пример получаемой спектральным сейсмопрофилированием информации о структуре
 Pic. 4. Example of structure information obtained by spectral seismic profiling

пробурить разведочные и эксплуатационные скважины в количестве 2 штук на весь карьер, с дебитом, соизмеримым с откачкой из зумпфа карьера, что подтверждает эффективность предлагаемого подхода к осушению месторождений.

Обсуждение результатов

Как было продемонстрировано на приведенных примерах, выбранный специалистами отдела геомеханики ИГД УрО РАН точечный подход к осушению месторождений имеет значительные преимущества по отношению к принятому в нормативных документах [13] валовому подходу к бурению скважин водопонижения по периметру месторождения (кольцевые, неполнокольцевые и линейные водопонизительные системы).

Использование двух-трех удачно расположенных скважин для снижения водопритоков в горные выработки по экономическому эффекту и эффективности водопонижения не сравнится ни с одной из вышеперечисленных систем осушения.

Применение описанной методики перед началом строительства горных выработок, особенно таких, как шахт-

ный ствол, пример которого приведен во введении настоящей статьи, мог бы в значительной степени сократить как материальные затраты на водоподавление при его строительстве, так и увеличить скорость проходки, экономический эффект которой неоспорим.

Ограничения исследования и обобщение его результатов

К сожалению, не на всех месторождениях применима технология осушения, приведенная в настоящей статье. Существует ряд месторождений, с которыми приходилось иметь дело, где наряду с очень высокой его обводненностью возможность создания скважинного водозабора для водопонижения и создания депрессионной воронки отсутствует по экологическим либо другим соображениям. В таком случае проходку горных выработок, в частности стволов, следует вести с использованием специальных методов, таких например, как заморозка. В этом случае следует уделить особое внимание каждому водоносному горизонту в отдельности для обеспечения безопасности проходки и строительства рудника.

В результате выполненных исследований разработана и опробована на ряде месторождений методика точечного осушения с использованием минимального количества скважин при максимальной эффективности водопонижения. В эпоху рыночной экономики, когда себестоимость продукции играет основную роль в развитии предприятий горнопромышленного комплекса, снижение затрат на строительство и эксплуатацию рудника за счет его осушения с минимальными материальными затратами имеет важное значение. Кроме того, осушение месторождения в большинстве случаев повышает устойчивость горных выработок и существенно влияет на безопасность его отработки в лучшую сторону, что также нельзя не отметить.

Комплекс используемых методов и оборудования для выполнения поисковых работ на каждом месторождении может меняться, однако сущность исследований при этом остается одинаковой — поиск путей фильтрации воды по очищенным, за счет современной подвижности, трещинам и карстам. Индикатором выступают структурно-тектонические нарушения.

Заключение

Выполненный комплекс исследований позволил обосновать необхо-

димый объем характеристик массива горных пород, отвечающий за его фильтрационные свойства. Основными водопроводящими элементами скального массива являются открытые трещины и (или) карсты в карстующихся породах, поддерживающиеся в таком состоянии за счет современной геодинамической активности тектонических нарушений, к которым они привязаны.

Таким образом, основными поисковыми элементами при решении задач осушения месторождений полезных ископаемых являются геомеханические особенности горного массива, такие как структурно-тектонические нарушения, находящиеся в подвижном состоянии. Границы и простираание структурно-тектонических нарушений хорошо выявляются с помощью средств наземной геофизики, а их подвижность определяется путем проведения специальных геодезических наблюдений с помощью спутниковой геодезии.

Приведенные примеры выполненных исследований на месторождениях, обрабатываемых как подземным способом, так и открытыми горными работами, показали высокую эффективность разработанной методики точечного осушения обводненных месторождений с минимальными затратами на создание водозаборных сооружений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Silwamba C, Chileshe P.R.K.* Open Pit Water Control Safety: A Case Of Nchanga OpenPit Mine // Zambia. International journal of Scientific & Technology research, 2015, Vol. 4, no 8, pp. 101 – 107.

2. *Preene M.* Techniques and Developments in Quarry and Surface Mine Dewatering // Proceedings of the 18-th Extractive Industry Geology Conference 2014 and technical meeting 2015, pp. 194 – 206.

3. *Мельник В.В., Замятин А.Л.* Осушение рудных тел в условиях повышенной обводненности и закарстованности налегающей толщи // Проблемы недропользования — 2018. — №1 (16). — С. 105–111. — (Исследования выполнены в рамках Программы ФНИ № 136, тема 0405–2015–0012) DOI: 10.25635/2313–1586.2018.01.105.

4. *Сашурин А.Д., Балек А.Е., Панжшин А.А., Усанов С.В.* Инновационная технология диагностики геодинамической активности геологической среды и оценки безопасно-

сти объектов недропользования // Горный журнал. — 2017. — № 12. — С. 16–20. DOI: 10.17580/gzh.2017.12.03.

5. Панжин А.А., Сашурин А.Д., Панжина Н.А. Определение напряженно-деформированного состояния массива в районе Киембаевского карьера // Маркшейдерия и недропользование. — 2019. — № 1. — С. 37–40. — DOI: 10.25635/IM.2019.30.37814.

6. Панжин А.А., Панжина Н.А. Исследование исходного и современного напряженно-деформированного состояния Джетыгаринского месторождения хризотил-асбеста // Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений: сборник докладов VIII Международной научно-технической конф. (4–5 апреля 2019): / отв. ред. Н.Г. Валиев. — Екатеринбург: УГГУ. — 2019. — С. 196–201.

7. Zanutta A., Negusini M., Vittuari L., Cianfarra P., Salvini F. et al. Monitoring geodynamic activity in the Victoria Land, East Antarctica: Evidence from GNSS measurements // Journal of Geodynamics. 2017, Vol. 110, pp. 31–42.

8. Sagintayev Z., Yerikey Z., Zhaparkhanov S., Panichkin, V., Miroshnichenko, O., Mashtayeva, S. Groundwater inflow modeling for a Kazakhstan copper ore deposit // Journal of Environmental Hydrology, 2015, Vol. 23, pp. 9.

9. Мельник В.В. Применение метода спектрального сейсмопрофилирования для оценки геомеханического состояния массива горных пород вокруг шахтных выработок // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2005. — № 10. — С. 69–74.

10. Мельник В.В., Замятин А.Л. Исследование и создание геолого-структурной и геомеханической модели участка недропользования // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2005. — № 4. — С. 226–230.

11. Santarato G., Ranieri G., Occhi M., Morelli G., Fischanger F., Gualerzi D. Three-dimensional Electrical Resistivity Tomography to control the injection of expanding resins for the treatment and stabilization of foundation soils // Engineering Geology, 2011, Vol. 119, pp. 18–30.

12. Elsayed I.S., Alhussein A.B., Gad E., Mahfooz A.H. Shallow Seismic Refraction, Two-Dimensional Electrical Resistivity Imaging, and Ground Penetrating Radar for Imaging the Ancient Monuments at the Western Shore of Old Luxor City, Egypt // Archaeological Discovery, 2014, Vol. 2, № 2, pp. 31–43.

13. Conyers L.B. Ground-penetrating Radar for Geoarchaeology // Analytical Methods in Earth and Environmental Science N.Y.: Wiley, 2016, 160 p.

14. Гликман А.Г., «Физика и практика спектральной сейсморазведки», available at: <http://www.newgeophys.spb.ru>, 2018.

15. Желтышева О.Д., Усанов С.В., Драсков В.П. Меры охраны зданий и сооружений от подземных горных работ в карстующемся массиве // Проблемы недропользования. — 2016. — №2(9). — С. 71–76. **ИДБ**

REFERENCES

1. Silwamba C, Chileshe P R K. Open Pit Water Control Safety: A Case Of Nchanga OpenPit Mine. Zambia. International journal of Scientific & Technology research, 2015, Vol. 4, no 8, pp. 101 107.

2. Preeen M. Techniques and Developments in Quarry and Surface Mine Dewatering. Proceedings of the 18-th Extractive Industry Geology Conference 2014 and technical meeting 2015, pp. 194 206.

3. Melnik V.V., Zamjatin A.L. Osushenie rudnyh tel v usloviyah povyshennoj obvodnennosti i zakarstovannosti nalegajushhej tolshhi. Problemy nedropol'zovaniya 2018. no1 (16). pp. 105 111. DOI: 10.25635/2313–1586.2018.01.105. [In Russ].

4. Sashurin A.D., Balek A.E., Panzhin A.A., Usanov S.V. Innovative technology for diagnostics of geodynamic activity of the geological environment and safety assessment of subsurface use objects. Gornyj zhurnal. 2017. no 12. pp. 16–20 DOI: 10.17580/gzh.2017.12.03. [In Russ].

5. Panzhin A.A., Sashurin A.D., Panzhina N.A. Determination of the stress-strain state of the massif in the area of the Kiyembaevsky quarry. Markshejderija i nedropol'zovanie. 2019. no 1. pp. 37–40. DOI: 10.25635/IM.2019.30.37814. [In Russ].

6. Panzhin A.A., Panzhina N.A. Issledovanie ishodnogo i sovremennogo napryazhenno-deformirovannogo sostojaniya Dzhetygarinskogo mestorozhdenija hrizotil-asbesta.

Innovacionnye geotehnologii pri razrabotke rudnyh i nerudnyh mestorozhdenij [Investigation of the initial and modern stress-strain state of the Dzhetygarinsky Deposit of chrysotile asbestos]: sbornik dokladov VIII Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konf. (4-5 aprelja 2019): / otv. red. N.G. Valiev. Ekaterinburg: UGGU. 2019. pp. 196–201. [In Russ].

7. Zanutta A., Negusini M., Vittuari L., Cianfarra P., Salvini F. et al. Monitoring geodynamic activity in the Victoria Land, East Antarctica: Evidence from GNSS measurements. *Journal of Geodynamics*. 2017. Vol. 110. pp. 31–42.

8. Sagintayev Z., Yarikuly Z., Zhaparkhanov S., Panichkin, V., Miroshnichenko O., Mashtayeva S. Groundwater inflow modeling for a Kazakhstan copper ore deposit. *Journal of Environmental Hydrology*, 2015, Vol. 23, 9 p.

9. Melnik V.V. Application of the spectral seismic profiling method for evaluating the geomechanical state of the rock mass around mine workings. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2005. no 10. pp. 69–74. [In Russ].

10. Melnik V.V., Zamjatin A.L. Research and creation of a geological-structural and geomechanical model of a subsurface use site. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2005. no 4. pp. 226–230. [In Russ].

11. Santarato G., Ranieri G., Occhi M., Morelli G., Fischanger F., Gualerzi D. Three-dimensional Electrical Resistivity Tomography to control the injection of expanding resins for the treatment and stabilization of foundation soils. *Engineering Geology*, 2011, Vol. 119, pp. 18–30.

12. Elsayed I.S., Alhussein A.B., Gad E., Mahfooz A.H. Shallow Seismic Refraction, Two-Dimensional Electrical Resistivity Imaging, and Ground Penetrating Radar for Imaging the Ancient Monuments at the Western Shore of Old Luxor City, Egypt. *Archaeological Discovery*, 2014, Vol. 2, no 2, pp. 31–43.

13. Conyers L.B. *Ground-penetrating Radar for Geoarchaeology. Analytical Methods in Earth and Environmental Science* N.Y.: Wiley, 2016, 160 p.

14. Glikman A.G., “Physics and Practice of Spectral Seismic Exploration,” available at: <http://www.newgeophys.spb.ru>, 2018.

15. Zheltysheva O.D. Usanov S.V., Draskov V.P. Measures of protection of buildings and structures from underground mining operations in the karst massif. *Problemy nedropol'zovaniya*. 2016. no2(9). pp. 71–76. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Мельник Виталий Вячеславович*¹ — кан. техн. наук, заведующий отделом геомеханики, melnik@igduran.ru,

*Харисов Тимур Фаритович*¹ — кан. техн. наук, старший научный сотрудник лаборатории геомеханики подземных сооружений, доцент кафедры шахтного строительства. *Замятин Алексей Леонидович*¹ — научный сотрудник лаборатории технологии снижения риска катастроф при недропользовании,

¹ Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук (ИГД УрО РАН), 620075 г. Екатеринбург, ГСП-219, Мамина-Сибиряка 58.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*Melnik V.V.*¹, Cand. Sci. (Eng.), head of the Department of geomechanics, melnik@igduran.ru, *Harisov T.F.*¹, Cand. Sci. (Eng.), senior researcher at the laboratory of geomechanics of underground structures, associate Professor of the Department of mine construction, *Zamyatin A.L.*¹, researcher at the laboratory of technology for disaster risk reduction in subsurface use,

¹ The Institute of Mining of the Ural branch of the Russian Academy of Sciences, 620075, Ekaterinburg, Russia.

Получена редакцией 21.11.2019; получена после рецензии 07.02.2020; принята к печати 20.03.2020.

Received by the editors 21.11.2019; received after the review 07.02.2020; accepted for printing 20.03.2020.

