

9. Antonov V. A. Informativeness of models of deformation interpretation of horizontal displacements of observation points of the Earth's surface. // Proceedings of Tula State University. Earth sciences. 2022. Issue 3. pp. 3-13.

10. Bashkinova E. In the Fundamentals of stress-strain theory in continuum mechanics. Samara: SamSTU. 2015. p. 78.

11. Antonov V. A. Spline binary-model determination of zones of horizontal deformation of the Earth's surface of a block mountain massif according to GPS navigation data // Problems of subsoil use. 2021. No. 2. pp. 85-93.

12. Antonov V. A. Extraction of mathematical and statistical regularities in experimental studies of mining and technological processes // Problems of subsoil use. 2018. 4. pp.61-70.

УДК 539.3.01:622.834

КОНТРОЛЬ СДВИЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ ПОРОДНОГО МАССИВА В ОКРЕСТНОСТИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

В.Д. Барышников, Д.В. Барышников

Приведены результаты практической реализации геомеханического мониторинга сдвижений и деформаций элементов горных конструкций при открыто-подземной разработке месторождений. На примере выемки законтурных запасов в придонной части карьера кимберлитовой трубки «Айхал» АК «АЛРОСА» рассмотрена система контроля устойчивости прибортового массива, организованная в подземных горных выработках с использованием глубинных реперов в скважинах. Выполнена оценка времени наступления активной стадии деформирования массива, её продолжительность и предельных смещений в момент обрушения откосов. Дано описание разработанного способа контроля напряженно-деформированного состояния массива горных пород, основанного на данных скважинных наблюдений за смещениями реперов. Предложенный способ использован в качестве составной части комплексных проектов гидрогеомеханических мониторингов подкарьерных рудных потолочин на рудниках «Айхал» и «Интернациональный» АК «АЛРОСА».

Ключевые слова: прибортовой массив, целик, глубинные репера, смещения, деформации

Введение. Разработка месторождений полезных ископаемых открытым или подземным способом сопровождается деформированием и разрушением горных пород. Роль геомеханического обоснования технических решений по условиям разработки и контроля устойчивости горных выработок существенно возрастает в связи с увеличением горных работ и, как следствие, ростом горного давления [1, 2].

Особой сложностью по условиям обеспечения безопасности отличается отработка подкарьерных запасов в зоне перехода от открытой к подземной разработке месторождений [3 – 6]. Приконтурный массив в придонной части карьера на завершающем этапе открытой разработки

ослаблен ведением взрывных работ, а борта и откосы уступов находятся, как правило, в предельном состоянии.

Важное значение приобретает геомеханический мониторинг состояния наиболее ответственных элементов горных конструкций: бортов и откосов уступов, подкарьерных рудных потолочин, предохранительных и охранных целиков, в том числе под водоносными комплексами. Нарушение их устойчивости приводит к серьёзным авариям, влечет за собой значительные экономические потери и возможные социальные проблемы.

Подземная отработка подкарьерных запасов осложнена рядом обстоятельств, главные из которых:

- наличие на дне карьера обводненных илов, что наравне с водопритоками, вызванными атмосферными осадками в весенне-летний период, создает угрозу прорыва воды и пульпы в горные выработки;

- недостаточная изученность зоны ведения очистных работ в части выделения ослабленных природной или техногенной нарушенностью зон, потенциально опасных с точки зрения водопроявлений;

- слабая геомеханическая изученность состояния рудного массива под дном карьера (физико-механических свойств и напряженное состояние массива горных пород) и, как следствие, ограниченная информация по условиям формирования водопроявляющих трещин при подработке подкарьерных запасов.

Наиболее вероятными участками для поступления воды являются зоны, потенциально опасные по разрушению массива горных пород. Образование водопроявляющих трещин следует ожидать в зонах критических деформаций и напряжений сжатия, сдвига или растяжения изгибающих слоев, приводящих к формированию нормально секущих или сдвигающих трещин, а также трещин расслоения [7]. В этой связи установление закономерностей формирования напряженно-деформированного состояния (НДС) и определение критических параметров деформирования подработанной толщи являются наиболее важными задачами проводимых исследований при разработке комплексных проектов гидрогеомеханического мониторинга (ГГМ).

Составной частью ГГМ является геомеханический мониторинг, цель которого – установление тенденций развития геомеханических процессов для принятия управленческих решений по обеспечению безопасности горных работ.

Анализ опыта проведения геомеханического мониторинга при отработке кимберлитовых месторождений в Якутии.

В качестве примера приведем некоторые результаты геомеханического мониторинга состояния прибортового массива при подземной отработке в северо-восточном рудном теле (СВРТ) контурных запасов в придонной части карьера на руднике «Айхал» АК «АЛРОСА».

Кимберлитовая трубка «Айхал» отработана открытым способом до глубины карьера 325 м (а. о. дна карьера в СВРГ +205 м). Вмещающие породы в переходной зоне представлены глинисто-карбонатными отложениями с горизонтальным залеганием слоев. Прочность пород на сжатие $\sigma_{сж} = 30...60$ МПа [8]. Существующие системы трещин во вмещающих породах имеют, как правило, вертикальное и крутонаклонное падение: отсутствует явно выраженная система наклонных трещин с падением в сторону очистного пространства.

При отработке подкрьерных запасов проектом института «Гипроникель» предусмотрена система поэтажного обрушения с открытым очистным пространством до а. о. +150 м. Опытно-промышленное испытание данной системы намечено провести при отработке законтурных запасов в СВРГ в отн. +330... + 205 м (рис. 1).

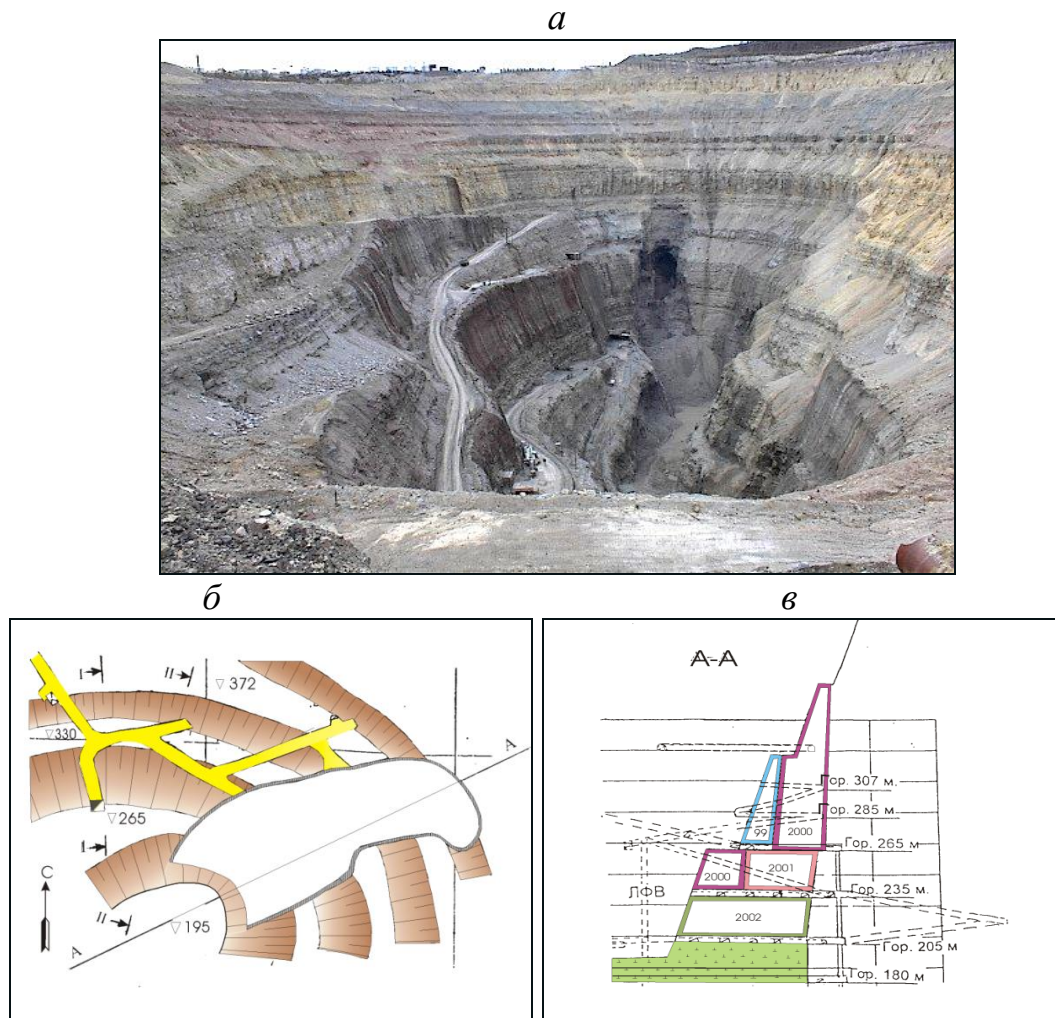


Рис. 1. *Общий вид карьера «Айхал» (а), схема расположения горных выработок и реперных стаций (б) и вертикальный разрез опытного блока (в)*

Приведем некоторые результаты контроля смещений приборного массива по мере отработки законтурных запасов [9]. На рис. 2 показаны схема расположения горных выработок (а) и наблюдательных скважин на реперных станциях РС1 и РС2 (б). Рис. 3 отражают результаты наблюдений за смещениями массива по горизонтальной скважине на РС2, где было зарегистрировано первое обрушение откоса в интервале глубин 27,5...30 м.

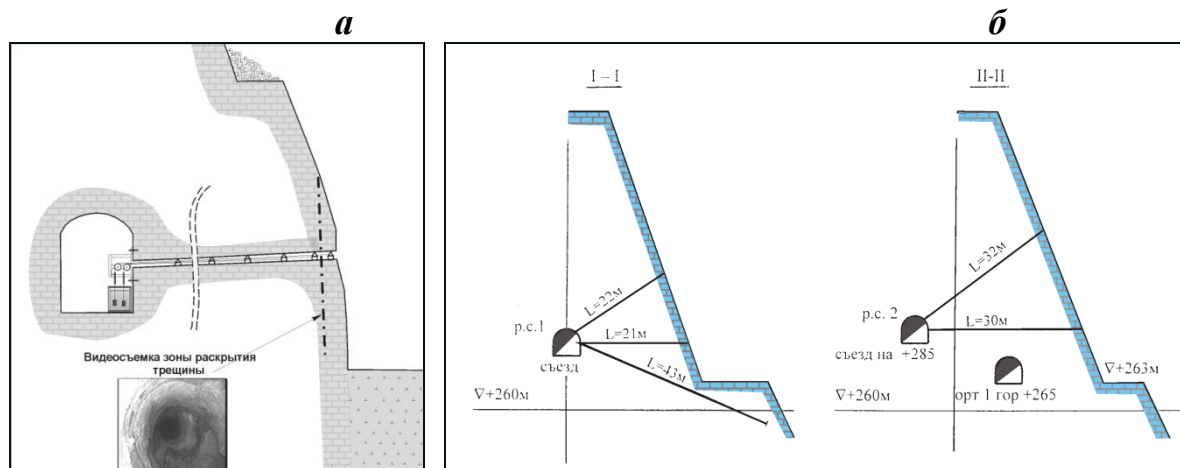


Рис. 2. Типовая конструкция реперной станции (а) и схема расположения контрольных скважин на станциях глубинных реперов РС1 и РС2

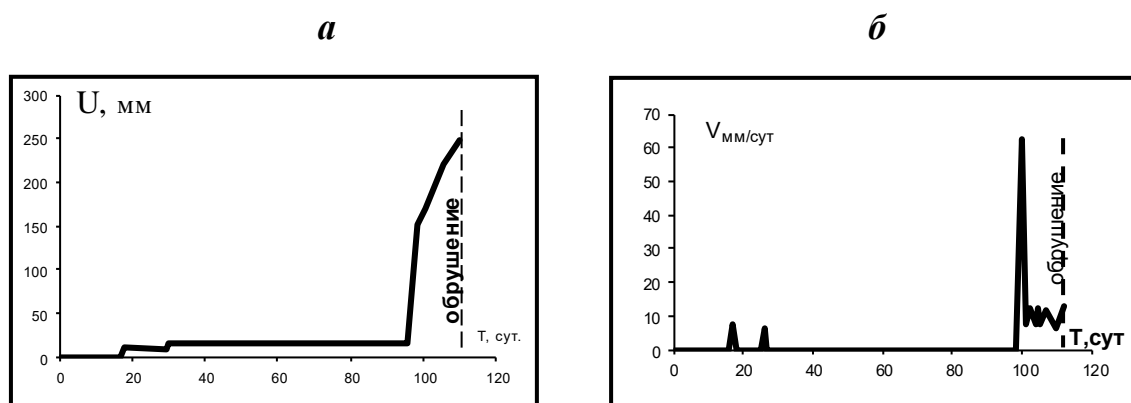


Рис. 3. Смещения реперов в горизонтальной скважине на удалении 30 м (а) и скорости их изменения на активной стадии деформирования откосов вплоть до его обрушения (б)

Полученная информация послужила основой для дальнейшего прогнозирования устойчивости откосов при понижении горных работ, что позволило обработать около 600 тысяч тонн законтурных запасов и охранной целик в зоне портала на отм. +265 м после его переноса на отм. +285 м.

Получены важные для последующего прогнозирования показатели деформирования формируемых откосов вплоть до их обрушения (рис. 4):

- предвестником наступления активной стадии деформирования откоса является приращение смещений с последующим незатухающим их изменением во времени;

- величина смещений от начала наблюдений до наступления активной стадии деформирования составил 120 мм, при этом последующая установившаяся скорость смещений 10...12 мм/сутки, а её продолжительность – около 10 суток;

- предельная величина смещений прибортового массива откоса в момент его обрушения составила 238 мм.

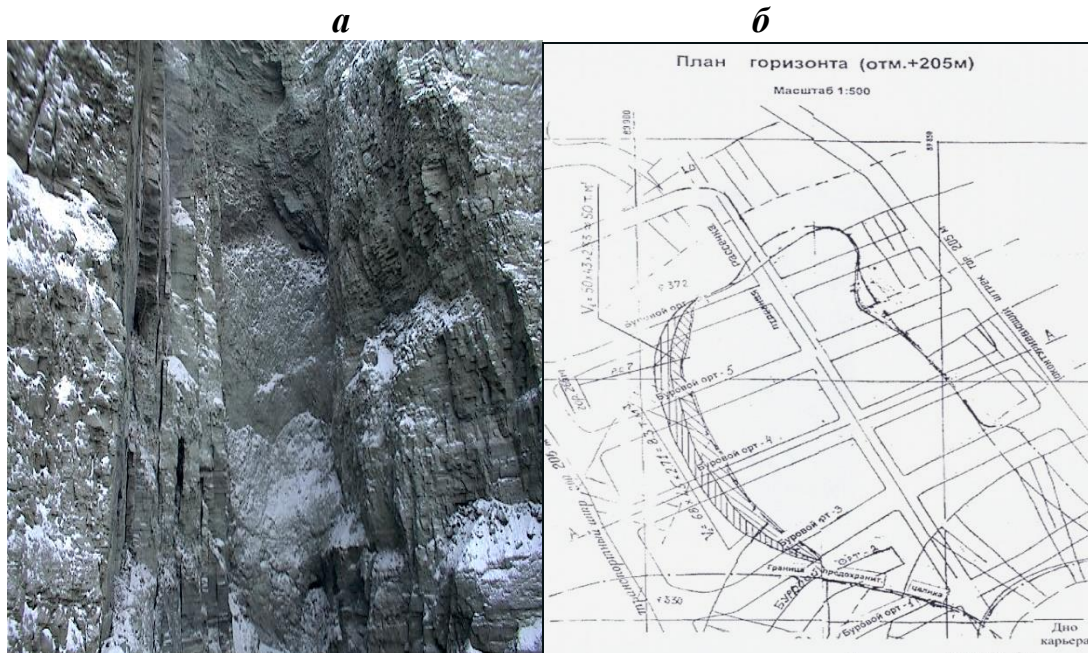


Рис. 4. Вид сформированного уступа (а) и зоны обрушений прибортового массива

Полученный опыт контроля устойчивости откосов на руднике «Ай-хал» использован при разработке способа контроля НДС породного массива в окрестности горных выработок [10].

Для контроля и прогноза устойчивости массива горных пород при производстве добычных работ предложен способ, основанный на измерении смещений реперов вдоль продольной оси контролируемой скважины. Места закрепления реперов выбирают в непосредственной близости к границам естественных блоков, определяемых по анализу керна контрольной скважины и видеосъемки её контура. При отсутствии нарушений массива репера устанавливают через определенный интервал по глубине скважины, располагая дальний от её устья репер вблизи границы контура предполагаемого обнажения. Измерения смещений реперов осуществляются относительно жестко закрепленного на устье скважины кондуктора. Каждый из реперов оснащен автономной гибкой связью, свободный конец которой выводится на измерительный блок кондуктора и соединяется с натяжным устройством (рис. 5). По измеренным смещениям вычисляют поинтер-

вальные величины деформаций массива вдоль продольной оси скважины. Выделение зон неупругих деформаций осуществляется путем сравнения их величин с предельно допустимой величиной деформаций для данного типа пород, определенной по результатам испытания кернов. Наступление активной стадии деформирования горной породы в зоне неупругих деформаций и её продолжительность, вплоть до обрушения прибортового массива в отработанное пространство, устанавливаются по тем реперам, на которых регистрируются смещения относительно кондуктора в незатухающей скоростью. Величину предельно допустимых смещений реперов определяют в момент отрыва гибкой связи. Полученное значение смещений используют для прогноза дальнейших обрушений массива по сохранившимся в работоспособном состоянии реперам.

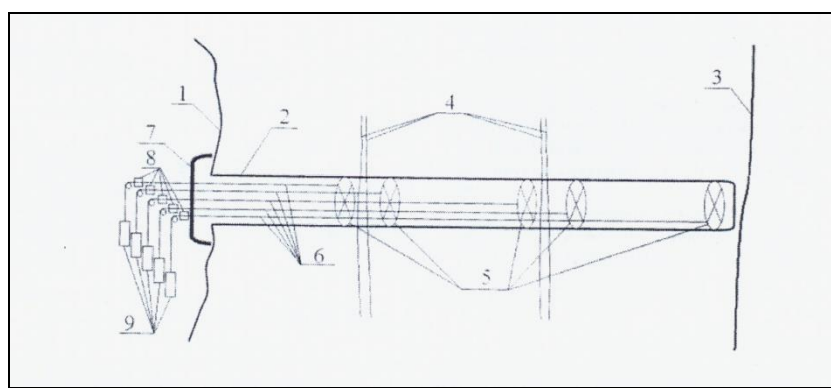


Рис. 5. Схема расположения реперов в контрольной скважине

Применение разработанного способа в комплексе с визуальным контролем состояния контура в соседней наблюдательной скважине и численных расчетов НДС межблочного целика обеспечило возможность определения величины предельных деформаций массива, необходимой для последующего прогнозирования деформирования выработок в процессе развития очистных работ на рудниках компании [11, 12]. Результаты выполненных исследований использованы при выборе состава и средств наблюдений, обосновании критериев безопасности массива подкарьерных рудных потолочин на рудниках «Айхал» и «Интернациональный» АК «АЛРОСА» [13, 14].

Заключение

1. Результаты выполненных исследований и практический опыт их использования на рудниках «Айхал» и «Интернациональный» АК «АЛРОСА» послужили основой для создания геомеханического мониторинга породного массива при ведении горных работ в переходной зоне от открытой к подземной разработке месторождений в качестве составной части ком-

плексных проектов гидрогеомеханического контроля подкарьерных массивов.

2. Опыт применения результатов измерений сдвижений породного массива в скважинах совместно с визуальной оценкой состояния контуров наблюдательных скважин обеспечивает оценку критических параметров деформирования пород и, как следствие, надежный контроль устойчивости прибортовых массивов, предохранительных целиков и горных выработок не только в переходной зоне, но и в условиях ведения горных работ на больших глубинах.

3. Эффективность геомеханического мониторинга может быть повышена путем автоматизации измерений сдвижений и деформаций массива горных пород в комплексе с данными визуальной съемки состояния контуров в наблюдательных скважинах и результатов численного моделирования НДС конструктивных элементов и горных выработок.

Список литературы

1. Захаров В.Н., Кубрин С.С., Аверин А.П. Мониторинг и прогноз техногенных гидро-, газо- и геодинамических явлений на рудниках АК «АЛРОСА» // Сб. науч. тр. междунар. науч.-практич. конф. «Проблемы и пути эффективной отработки алмазоносных месторождений / под ред. А.С. Чаадаева, И.В. Зырянова, И.Ф. Бондаренко. Новосибирск: Наука, 2011. С. 157-160.

2. Комплексная многоуровневая система геомониторинга природно-технических объектов горнодобывающих комплексов / Н.Н. Мельников, А.И. Калашник, Н.А. Калашник, Д.В. Запорожец. Новосибирск: ФТПРПИ. 2018. №4. С. 3 -10.

3. Каплунов Д.Р., Калмыков В.Н., Рыльникова М.В. Комбинированная геотехнология. М.: Издательский Дом «Руда и металлы», 2003. 560 с.

4. Барышников В.Д., Гахова Л.Н., Черепнов А.Н. Геомеханическая оценка и контроль состояния рудной потолочины при переходе от открытой к подземной разработки // Труды 21-го Всемирного конгресса. Краков. 2008. Т. 3. с. 114-119.

5. Инструкция по безопасному ведению горных работ при комбинированной (совмещенной) разработке рудных и нерудных месторождений полезных ископаемых РД 06-174-97. РД 06-174-97). Сер. 06. Вып. 4. -2-е изд., испр. М.: Закрытое акционерное общество «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2011. 28 с.

6. Иофис М.А., Мыцких О.С. Особенности геомеханических процессов геотехнологии горных работ в переходной зоне // Сб. науч. тр. междунар. науч.-практич. конф. «Проблемы и пути эффективной отработки

алмазоносных месторождений» / под ред. А.С.Чаадаева, И.В. Зырянова, И.Ф. Бондаренко. Новосибирск: Наука, 2011. С. 145 – 148.

7. Барях А.А., Самоделкин Н.А., Паньков И.Л. Разрушение водопорных толщ при ведении крупномасштабных горных работ. Ч. I. Новосибирск: ФТПРПИ. 2012. №5. С. 3–14.

8. Коноваленко В.Я. Справочник физико-механических свойств горных пород алмазных месторождений Якутии. Новосибирск: Издательство СО РАН. 2012. 276 с.

9. О проблемах безопасности освоения кимберлитовых месторождений в сложных горно-геологических и природно-климатических условиях В.Н. Опарин [и др.]. М.: Горный журнал. 2011. №1. С. 59-63.

10. Способ контроля напряженно-деформированного состояния массива горных пород: пат. 2613229 РФ; опубл. 15.03.2017. Бюл. №8.

11. Барышников В.Д., Барышников Д.В., Гахова Л.Н. Оценка вертикальных сдвижений и деформаций подрабатываемого массива при слоевой системе разработки // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. Новосибирск: ИГД СО РАН, 2016. С.265 - 269.

12. Система видеомониторинга околоскважинного пространства для контроля деформационных процессов горных пород и закладочного массива: пат. 2774458 РФ № 2774458; опубл. 21.06.2022. Бюл. №18.

13. Барышников В.Д., Гахова Л.Н., Барышников Д.В. Результаты контроля сдвижений подкарьерной рудной потолочины при отработке нижележащих слоев // Сб. науч. тр. X Междунар. конф. «Комбинированная геотехнология: переход к новому технологическому укладу». Магнитогорск: МГТУ, 2019. С. 140 – 147.

14. Зырянов И.В., Зотеев О.В., Барышников В.Д., Пуль В.В. Выбор и обоснование состава наблюдений и критериев безопасности при геомеханическом мониторинге на руднике «Интернациональный». М.: Горный журнал, 2019. №2. С. 21 – 26.

Барышников Василий Дмитриевич, канд. техн. наук, вед. науч. сотр., зав. лабораторией, v-baryshnikov@yandex.ru, Россия, Новосибирск, Институт горного дела СО РАН, Республика Саха (Якутия), г. Мирный, институт «Якутнипроалмаз» АК «АЛРОСА»,

Барышников Дмитрий Васильевич, науч. сотр., d-baryshnikov@yandex.ru, Россия, Новосибирск, Институт горного дела СО РАН

MOVEMENT AND DEFORMATION CONTROL IN SURROUNDING ROCK MASS

V.D. Baryshnikov, D.V. Baryshnikov

The paper describes implementation of geomechanical monitoring of movements and deformations in rock mass and mine structures in hybrid open pit/underground mining. The case-study of extraction of Aikhal kimberlite pipe reserves under bottom of an open pit of AL-

ROSA allows examining the pitwall rock mass stability control using subsurface check points arranged in boreholes in underground roadways. The authors assess the occurrence time of dynamic deformation in pitwall rock mass, duration of the dynamic deformation period and the limit displacements at the moment of slope falls.

The developed assessment method of the rock mass stress–strain behavior uses the data of borehole measurements of check point displacements. The proposed method is included in integrated projects of hydrogeomechanical monitoring of crown pillars under pit bottoms in Aikhal and Internatsionalny Mines of ALROSA.

Key words: pitwall rock mass, pillar, subsurface check points, displacements, deformations.

Baryshnikov Vasily Dmitrievich, candidate of technical sciences, leading researcher, head of laboratory, v-baryshnikov@yandex.ru, Russia, Novosibirsk, Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch Russian Academy of Sciences, Sakha Republic (Yakutia), Mirny, Yakutniproalmaz Institute,

Baryshnikov Dmitriy Vasilievich, researcher, d-baryshnikov@yandex.ru, Russia, Novosibirsk, Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch Russian Academy of Sciences

Reference

1. Zakharov V.N., Kubrin S.S., Averin A.P. Monitoring and forecasting of technogenic hydro, gas and geodynamic phenomena at the mines of AK ALROSA // Sb. nauch.tr. international scientific and practical conference "Problems and ways of effective mining of diamond-bearing deposits", ed. A.S. Chaadaeva, I.V. Zyryanova, I.F. Bondarenko. Novosibirsk: Nauka, 2011, pp. 157-160.
2. Complex multilevel geomonitoring system of natural and technical objects of mining complexes / N.N. Melnikov, A.I. Kalashnik, N.A. Kalashnik, D.V. Zaporozhets. Novosibirsk: FTPRPI. 2018. No. 4. p. 3 -10.
3. Kaplunov D.R., Kalmykov V.N., Rylnikova M.V. Combined geotechnology. M.: Publishing House "Ore and metals". 2003. 560 p.
4. Baryshnikov V.D., Gakhova L.N., Cherepnov A.N. Geomechanical assessment and control of the state of the ore ceiling during the transition from open to underground mining // Proceedings of the 21st World Congress. Krakow. 2008. Vol. 3. pp. 114-119.
5. Instructions for safe mining operations in the combined (combined) development of ore and non-metallic mineral deposits RD 06-174-97. RD 06-174-97). Ser. 06. Issue 4. - 2nd ed., ispr. Moscow: Closed Joint Stock Company "Scientific and Technical Center for Industrial Safety Research", 2011. 28 p.
6. Iofis M.A., Mytskikh O.S. Features of geomechanical processes of mining geotechnology in the transition zone // Collection of scientific tr. international scientific and practical conf. "Problems and ways of effective mining of diamond-bearing deposits" / edited by A.S. Chaadaev, I.V. Zyryanov, I.F. Bondarenko. Novosibirsk: Nauka, 2011. pp. 145 – 148.
7. Baryakh A.A., Samodelkin N.A., Pankov I.L. Destruction of water-resistant strata during large-scale mining operations. Ch. I. Novosibirsk: FTPRPI. 2012. No. 5. pp. 3-14.
8. Konovalenko V.Ya. Handbook of physical and mechanical properties of rocks of diamond deposits of Yakutia. Novosibirsk: Publishing House of the SB RAS. 2012. 276 p
9. On the problems of the safety of the development of kimberlite deposits in difficult mining-geological and natural-climatic conditions V.N. Oparin [et al.]. M.: Mining Journal. 2011. No. 1. pp. 59-63.

10. Method for monitoring the stress-strain state of a rock mass: pat. 2613229 of the Russian Federation; publ. 03/15/2017. Byul. No. 8.

11. Baryshnikov V.D., Baryshnikov D.V., Gakhova L.N. Evaluation of vertical displacements and deformations of a part-time array with a layered development system // Fundamental and applied issues of mining sciences. Novosibirsk: IGD SB RAS. 2016. pp.265 - 269.

12. Video monitoring system of the near-well space for monitoring the deformation processes of rocks and the laying array: pat. 2774458 RF No. 2774458; publ. 21.06.2022. Byul. No. 18.

13. Baryshnikov V.D., Gakhova L.N., Baryshnikov D.V. Results of control of shifts of the subcarrier ore ceiling when working off the underlying layers // Sb. nauch. tr. X international conf. "Combined geotechnology: transition to a new technological order". Magnitogorsk: MSTU. 2019. pp. 140 – 147.

14. Zyryanov I.V., Zoteev O.V., Baryshnikov V.D., Pul V.V. Selection and justification of the composition of observations and safety criteria for geomechanical monitoring at the "International" mine. Moscow: Mining Journal. 2019. No. 2. pp. 21-26.

УДК 53.043+53.087+626/627

ВЛИЯНИЕ ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ НА ИЗМЕНЕНИЕ СТЕПЕНИ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

С.К. Давлатшоев

Рассматривается исследование по выявлению физических явлений опреснения и отжатия подземных минерализованных вод под воздействием гидростатического и осмотического давлений, а также появление гидронапорно-осмотической завесы между менее и сильноминерализованными водами в результате достижения равновесного состояния между гидростатическим и осмотическим давлениями.

Ключевые слова: минерализованные воды, гидрогеохимия, кондуктометр, пьезометр, гидростатическое давление, осмотическое давление, гидроосмотическая завеса.

Режимные наблюдения за уровнем подземных вод и их химизмом в изыскательских скважинах основания плотины Рогунской ГЭС, которые проводились с 1968 по 1977 годы [1].

Общая картина гидрогеохимической обстановки может быть представлена следующим образом.

На участке развития соли по Ионахшскому разлому отмечается вертикальная зональность минерализации подземных вод (см. разрезы через скв. 1071-1008-1016-1020-2016-1027, рис. 1). Во всех скважинах подземные воды до глубины 40-50 м обладают низкой минерализацией 2 до 10 г/л, относясь по типу к сульфатным кальциевым, сульфатным натриевым и сульфатно – хлоридно - натриевым. Наиболее низкой величиной минерализации (2 – 3 г/л) обладает первый тип вод и соответственно более высокой