

УДК 556.3.01.012:574.4

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ БОРТОВ КАРЬЕРА «НЮРБИНСКИЙ» ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ГИДРОГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

¹Черкашин С.Г., ¹Дроздов А.В., ²Мельников А.И.

¹Институт «Якутнипроалмаз» АК «АЛРОСА», Мирный, e-mail: drosdovav@list.ru;

²Институт земной коры СО РАН, Иркутск, e-mail: mel@crust.irk.ru

В настоящей статье представлен анализ деформационного состояния бортов карьера «Нюрбинский» на верхних горизонтах по результатам гидрогеомеханического мониторинга. Оборудованные профили реперов наблюдательной станции позволили оценить показатели смещений отдельных блоков криогенных пород, обладающих низкими прочностными показателями. Установлено, что наибольшими скоростями смещений реперов обладает юго-восточный борт, при этом интенсивность геомеханических процессов имеет сезонный характер и связана с растевающими факторами за счет водных потоков

Ключевые слова: деформации, мерзлые породы, борта карьера, репер, гидрогеомеханический мониторинг

ESTIMATION OF THE CONDITION OF BOARDS OF THE OPEN-CAST MINE «NJURBINSKY» BY RESULTS OF HYDROGEOMECHANICS MONITORING

¹Tcherkashin S.G., ¹Drozдов A.V., ²Melnikov A.I.

¹Institute «Jakutniproalmaz» AC «ALROSA», Mirny, e-mail: drosdovav@list.ru;

²Institute of the earth crust, Siberian Branch of the Russian Academy of Science, Irkutsk, e-mail: mel@crust.irk.ru

In the present article, the analysis of a deformation condition of boards of an open-cast mine «Njurbinsky» on the top horizons by results hydrogeomechanics monitoring is presented. The equipped profiles of reference points of observant station have allowed estimating indicators displacement separate blocks of the cryogenic breeds possessing low stress-strain indicators. It is established that the greatest speeds of displacement of reference points the southeast board, thus intensity of geomechanical processes possesses has seasonal nature and is connected with permafrost thaw factors at the expense of water streams.

Keywords: deformations, frozen breeds, open-cast mine boards, a reference point, hydrogeomechanics monitoring

Месторождение трубки Нюрбинская приурочено к юго-восточной части Якутской алмазонасной провинции и располагается в пределах Накынского кимберлитового поля на междуречье Ханьи и Накына [1]. Ближайшими промышленными центрами являются г. Мирный (315 км юго-западнее), г. Удачный и п. Айхал (270 и 280 км северо-западнее). Район в геоморфологическом отношении находится в пределах Виллойско-Мархинской денудационной равнины с отметками водоразделов от +212,8 до +269,3 абс. м. В непосредственной близости от рудного поля рельеф слаборасчлененный, с отметками: +245...+255 абс. м, и превышениями над прилегающими водотоками от 15 до 35 м.

Климат района – резкоконтинентальный, с холодной продолжительной (8 месяцев) зимой, коротким (3 месяца) теплым летом и кратковременными переходными периодами. Устойчивый снеговой покров образуется в начале октября, сходит в мае. Средняя мощность снегового покрова – 50 см. Проектная глубина карьера – 450 м, с минимальной отметкой полотна -200 абс. м. В геологическом строении месторождения принимают участие вмещающие ким-

берлитовую трубку отложения мархинской и моркокинской свит верхнего кембрия и олдондинской свиты ордовика. Перекрывают рудное тело триасовые (дяхтарская толща), нижнеюрские (укугутская, тюнская и сунтарская свиты) и среднеюрские (якутская свита) породы.

Накыновое кимберлитовое поле, расположенное в северной провинции Якутии, относится по типу площадного распространения криогенных толщ к области сплошного развития многолетнемерзлых пород (ММП). Мощность криолитозоны обладает широким диапазоном от 540 до 780 м, а средняя региональная температура пород изменяется от –3 до –5°С [1]. Породы в пределах вскрываемых криогенных толщ мерзлые и морозные. Лёд отмечается до глубины 240 м. Криогенные текстуры массивные, трещинно-прожилковые, трещинно-жильные. В кавернозных известняках и доломитах лёд заполняет пустоты, в мергелях и аргиллитах фиксируется в виде тонких прослоек и линз. Лыдность отложений верхней части разреза достигает 20%, с глубиной снижается до 2% и менее. Целью данной публикации является изложение ре-

зультатов выполненных инструментальных наблюдений для оценки сдвижений разных участков карьера «Нюрбинский» на верхних горизонтах месторождения, обладающих пониженными прочностными показателями криогенных пород.

Результаты исследований. Открытые горные работы на месторождении трубки Нюрбинская начаты в 2000 г. Отработка карьера ведется послойно, уступами высотой 15 м с разбивкой на два подступа по 7,5 м. Вскрытие карьера осуществлено двумя капитальными траншеями: южной – внешнего заложения, предназначенной для транспортирования руды и песков на рудные склады и вскрыши на отвал пустых пород № 1 (восточный); северной – внутреннего заложения, предназначенной для транспортирования вскрышных пород на внешний вскрышной отвал № 2 (северный) (рис. 1). Капитальные траншеи примыкают к системе внутренних спиральных съездов встречного направления. Съезды имеют точки пересечения на горизонтах +225, +190 и +130 абс. м. на горизонте +130 абс.

м встречные съезды объединяются, и ниже вскрытие карьера осуществляется одним спиральным съездом.

На начало 2015 г. глубина карьера составила 287 м, размеры по верхней бровке с учетом россыпи 1050×1650 м, расстояние от отвала до карьера 330 м, высота северного отвала от 25 (на юге) до 50 м (на севере). К югу от восточного отвала находится аварийная ёмкость 1-й очереди хвостохранилища ОФ № 16 и зумпф. Расстояние от крупного гидротехнического сооружения до карьера составляет 288 м, до отвала - 312 м, а от зумпфа до карьера – 125 м. Средняя отметка верхней бровки карьера +250, а дна карьера -37 абс. м. Высота уступов, отстраиваемых по проекту на переднем контуре в перекрывающих породах, соответствуют 30 м, а угол наклона $\alpha = 35^\circ$. для уменьшения поступления в карьерное поле поверхностных вод с прилегающей территории и отвалов вскрышных пород за пределами конечного контура карьера предусмотрены нагорные канавы по западному и восточному бортам с отводом, поступающих в них стоков, в верховье хвостохранилища.



Рис. 1. Общий вид карьера «Нюрбинский»

Для оценки геомеханического состояния бортов карьерной выработки на верхних горизонтах при отработке месторождения приведем основные результаты наблюдений за последние два года. Наблюдательная станция карьера «Нюрбинский» в настоящее время включает четыре профиля реперов по участкам бортов с подготовленными 27 реперами. Совмещенный план карьера и наблюдательной станции показан на рисунке 2. Для анализа обстановки использованы данные инструментальных маркшейдерских наблюдений, выполненных ООО ЦПИП «ГЕНЕЗИС-ЦЕНТР» (г. Москва), и маркшейдерской службы Нюрбинского ГОКа. Определение плановых координат реперов и вертикальных смещений осуществляется с использованием цифрового нивелира DINI 12, инварных прецизионных кодовых реек, для контрольных линейных измерений – электронного тахеометра Trimble-3603 DR EXTRIM.

При анализе смещения вводятся локальные системы координат gzn , связанные с каждой профильной линией, которые закладываются, по возможности, перпендикулярно простиранию борта карьера. Вертикальная плоскость gz проходит через профильную линию, ось g направлена в горизонтальной плоскости перпендикулярно бровке в ка-

рьер, ось z – вертикально вверх, ось t – перпендикулярна плоскости gz .

С учётом сезонной цикличности деформаций, проблемными реперами считаются реперы, имеющие направление плановых смещений в выработанное пространство, у которых средняя скорость полного вектора смещений за два предшествующие цикла превышают $0,1$ мм/сут, и обладают тенденцией роста или скорости в цикле выше $0,2$ мм/сут [2]. Кроме этого, определение значимой скорости вектора смещений, вычисляемой, как и скорость смещений в вертикальной плоскости gz , но с исключением радиальной составляющей ненаправленной в карьер и вертикальной составляющей при поднятии репера. Используем следующие обозначения: dr , dn , dz – радиальные, поперечные, вертикальные смещения, мм; e – горизонтальные деформации исследуемого интервала; Vr , Vn , Vz – скорость радиальных, поперечных, вертикальных смещений, мм/сут; Vrz – скорость смещений в вертикальной плоскости, нормальной простиранию борта, мм/сут; $V_{пл}$ – значимая скорость смещений в плане, мм/сут; V – значимая скорость полного вектора смещений, мм/сут; Vs – среднее значение за два последних цикла значимой скорости полного вектора смещений, мм/сут.

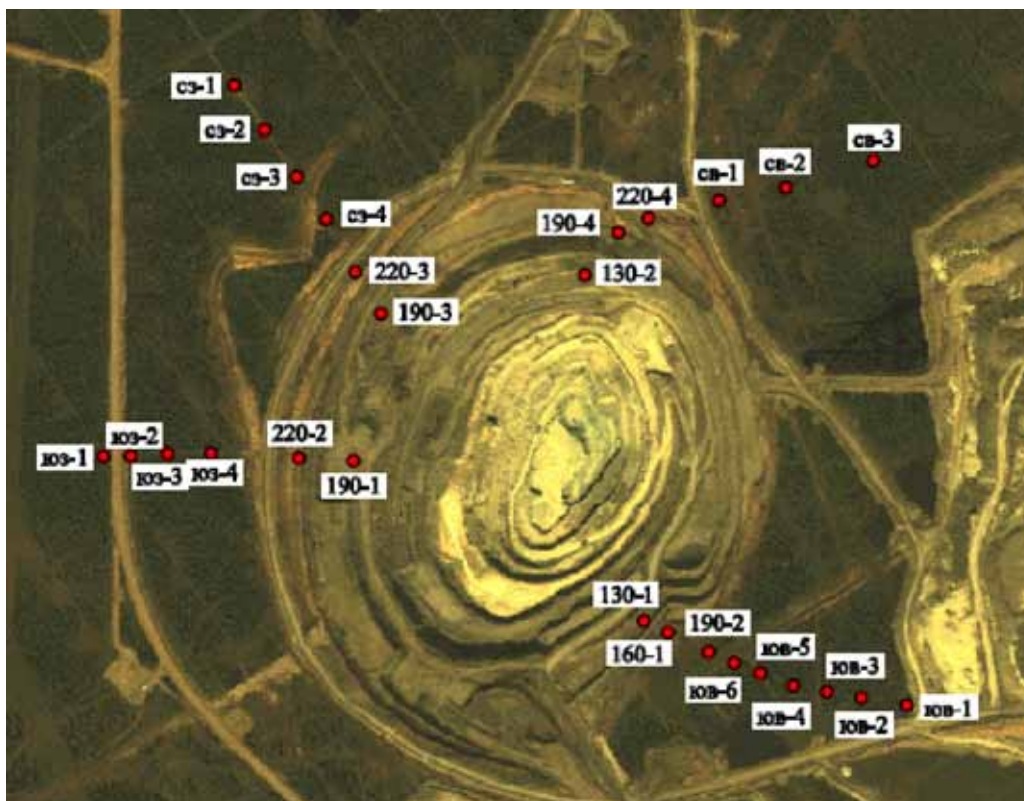


Рис. 2. Совмещенный план карьера и наблюдательной станции

В табл. 1–3 приведены результаты наблюдений скорости смещений реперов в естественной системе координат у верхней бровки карьера на дневной поверхности, показатели значимой скорости за один и два последних цикла. Проблемными реперами в рассматриваемом периоде являются 4 репера из 6-и северо-восточного борта (кроме Rp 190-4, Rp 130-2),

9 из 9-и реперов юго-восточного борта, 2 репера из 6 западного борта (Rp 3-220-2, Rp 190-2) и 1 репер из 6 северо-западного борта (Rp СЗ-220-3). Все реперы горизонта +220 абс. м являются также проблемными. В текущем цикле произошли значительные высотные деформации по всем наблюдательным линиям со скоростями 0,3–0,39 мм/сут.

Таблица 1

Средние скорости смещений реперов в двух последних циклах

Борт	Дата									
	05.11.2013 г.					15.04.2014 г.				
	Vr	Vn	Vz	V	Vs	Vr	Vn	Vz	V	Vs
Северо-Восточный	0,39	-0,11	0,08	0,43	0,51	0,34	0,08	0,35	0,34	0,38
Юго-Восточный	0,47	0,09	0,01	0,47	0,39	0,18	0,07	0,34	0,18	0,32
Западный Среднее	0,04	0,13	0,07	0,06	0,11	0,14	-0,05	0,35	0,14	0,10
Северо-Западный	-0,06	-0,08	0,03	0,01	0,11	0,14	0,03	0,11	0,14	0,08

Таблица 2

Средние скорости смещений реперов в двух последних полугодовых циклах

Борт	Дата									
	15.06.2013-05.11.2013 г.					05.11.2013-15.04.2014 г.				
	Vr	Vn	Vz	V	Vs	Vr	Vn	Vz	V	Vs
Северо-Восточный	0,44	-0,04	-0,04	0,44	0,38	0,34	0,08	0,35	0,34	0,39
Юго-Восточный	0,39	0,14	-0,04	0,39	0,41	0,18	0,07	0,34	0,18	0,29
Западный	0,05	0,03	-0,02	0,08	0,07	0,14	-0,05	0,35	0,14	0,11
Северо-Западный	0,06	-0,06	0,02	0,06	0,06	0,14	0,03	0,11	0,14	0,10

Таблица 3

Изменение скоростей смещений реперов юго-восточного борта в плоскости RZ (мм/сут)

Репер	за цикл			за год			от начального цикла (17.06.2010 г.)		
	Vr	Vz	Vrz	Vr	Vz	Vrz	Vr	Vz	Vrz
ЮВ-1	0,46	0,01	0,46	0,31	0,06	0,31	0,33	0,07	0,34
ЮВ-2	0,41	-0,02	0,41	0,33	-0,06	0,34	0,34	-0,05	0,34
ЮВ-3	0,46	-0,06	0,46	0,38	-0,06	0,38	0,39	-0,05	0,39
ЮВ-4	0,52	-0,02	0,52	0,43	-0,06	0,43	0,44	-0,04	0,45
ЮВ-5	0,57	-0,07	0,57	0,52	-0,13	0,53	0,53	-0,11	0,54
ЮВ-6	0,58	0,01	0,58	0,59	-0,04	0,59	0,64	-0,03	0,64
190-2	0,54	0,07	0,54	0,47	-0,04	0,47	0,47	-0,04	0,47
160-1	0,38	0,13	0,40	0,34	-0,02	0,34	0,34	-0,02	0,34
130-1	0,30	0,06	0,31	0,28	-0,04	0,28	0,28	-0,04	0,28

Увеличение скоростей смещений в последние периоды происходит с началом снижения температур атмосферного воздуха. Это вероятно связано с тем, что в районе реперов юго-восточной профильной линии были обнаружены с помощью георадара нарушения сплошности породных толщ на поверхности прибортового массива, которые в теплые периоды могут быть заполнены водой. Следует отметить, что инструментальные наблюдения, проводимые маркшейдерской службой Нюрбинского ГОКа, осуществлялись с периодичностью два раза в месяц. За предыдущий год скорости смещений проблемных реперов юго-восточного борта значительно уменьшались. Причина этого детально не исследовалась – это может быть связано как с разгрузкой горного массива, так и с другими внешними факторами.

При оценке результатов измерений ООО ЦПИП «ГЕНЕЗИС-ЦЕНТР» и маркшейдерской службы Нюрбинского ГОКа можно предположить, что скорости в центральной части восточного борта могут быть выше скоростей юго-восточной профильной линии. Более точную картину состояния данного борта можно осуществить при изучении физико-механических свойств перекрывающих горных пород в районе его центральной части. Из отбуренного кернового материала необходимо получить зависимости между прочностными и деформационными характеристиками, реологические свойства горных пород прибортового массива. Несомненно, ситуация деформирования отдельных участков верхних горизонтов карьера, в большей мере, связанная с природной трещиноватостью пород, наличием грунтовых вод, процессом деградации ММП. Однако, в настоящий период состояние борта не является критическим.

Основные выводы и рекомендации по результатам анализа инструментальных наблюдений деформирования бортов ка-

рьера «Нюрбинский» следующие. Общие показатели смещений реперов ($V_r > 0,2$ мм/сут или $V_s > 0,1$ мм/сут) на участках следующие: северо-восточный борт 4 из 6 (кроме Rp 190-4, Rp 130-2); юго-восточный борт 9 из 9; западный борт 2 из 6 (Rp 3-220-2, Rp 190-1); северо-западный борт 2 из 6 (Rp СЗ-220-3, Rp СЗ-4). Значения средних радиальных и полных скоростей по бортам карьера уменьшились по восточному борту и увеличились по западному. Однако, одновременно в текущем цикле в результате инструментальных измерений получено значительное поднятие всех реперов со средней скоростью $V_z = 0,35$ мм/сут, при показателях предыдущего цикла по профильным линиям от 0,01 до 0,04 мм/сут.

Скорости смещения реперов юго-восточного борта за последние три года стабилизировались с признаками сезонности с высокими значениями среднегодовой скорости полного вектора смещений около 0,4 мм/сут (рис. 3). В последнем цикле произошло уменьшение скоростей вектора смещений реперов профильной линии: при приближении к бровке карьера радиальной скорости (V_r) от 0,18 до 0,28 мм/сут и значимой скорости полного вектора смещений (V_s) от 0,28 до 0,43 мм/сут. на реперах уступов, расположенных во вмещающих породах, за последний цикл также произошло сезонное уменьшение радиальной составляющей скорости смещения (Rp 160-1 с 0,24 до 0,07 мм/сут; Rp 130-1 с 0,2 до 0,02 мм/сут). Средние значения скорости полного вектора смещений северо-восточного борта за последние два цикла стабилизировались (0,38 и 0,39 мм/сут). Общая тенденция распределения векторов скоростей смещений осталась без изменений и имеются признаки сдвижения массива перекрывающих пород с выходом в борт карьера на горизонте +220 абс. м.

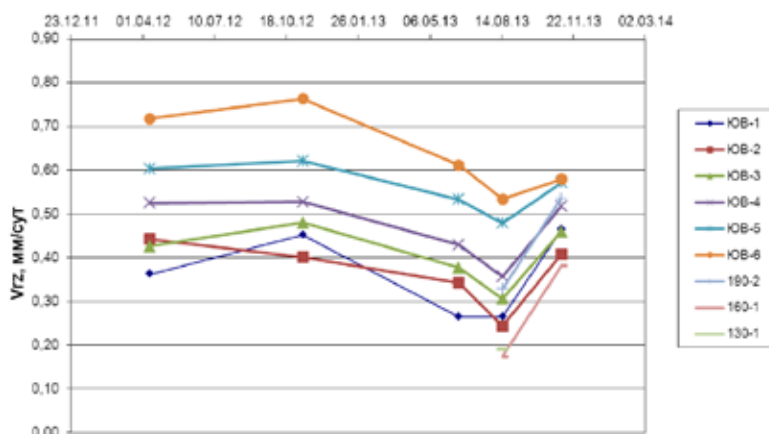


Рис. 3. Модуль скорости смещений в вертикальной плоскости реперов юго-восточного борта

За последний цикл увеличились радиальная скорость и значимая скорость полного вектора смещений всех реперов северозападного и западного бортов: для реперов северозападного борта, достигнув средних скоростей $V_r = 0,14$ мм/сут, $V_s = 0,1$ мм/сут при показателях предыдущего цикла $0,06$ мм/сут. Максимальные значения скоростей зафиксированы у репера Rp 220-3 ($V_r = 0,22$ мм/сут, $V_s = 0,21$ мм/сут). для реперов западного борта достигнуты средние скорости $V_r = 0,14$ мм/сут, $V_s = 0,11$ мм/сут, при показателях предыдущего цикла $0,05$ и $0,07$ мм/сут, соответственно. Максимальные значения зафиксированы также у реперов Rp 220-2 ($V_r = 0,25$ мм/сут, $V_s = 0,25$ мм/сут) и Rp 190-1 ($V_r = 0,22$ мм/сут, $V_s = 0,15$ мм/сут).

Необходимая частота наблюдений за бортами карьера должна соответствовать требованию к периодичности наблюдений в зависимости от скоростей смещений прибортового массива [4]. В соответствии с этим наблюдения за деформациями северо-восточного борта необходимо производить один раз в квартал. Периодичность наблюдения других бортов карьера можно оставить без изменений.

Заключение

Для обеспечения геомеханической безопасности ведения открытых горных работ необходимо разработать систему противодеформационных мероприятий по обеспечению устойчивости откосов уступов карьера в перекрывающих породах, который должен включать: создание современной системы мониторинга, позволяющей фиксировать с высокой точностью ход развития деформаций, разработка методики наблюдений системы раннего оповещения; разработка технологий по укреплению уступов в перекрывающих криогенных породах и т.д.

Для системы раннего оповещения используются лазерные сканеры и интерферометрические радары. Как альтернативу известным системам раннего оповещения деформаций массива можно рассматривать инструментальная система контроля динамического состояния массива горных пород в прибортовой части карьера по данным деформационного мониторинга, разрабо-

танную в ИЗК СО РАН [3]. Предлагаемая к внедрению технология включает в себя выявление опасных для обрушения участков карьера на основе комплекса тектонофизических методов, организацию на этих участках мониторинга деформационных, электромагнитных и других тестовых параметров в режим реального времени, обработку данных мониторинга с выдачей прогноза динамического состояния массива горных пород в прибортовой части карьера. Данная инструментальная система была внедрена и опробована в пределах восточного борта карьера «Нюрбинский», создана сеть наблюдений из трех пунктов.

Учитывая изменение гидрогеокриологических условий и физико-механических свойств ММП в пределах перекрывающей толщи за счет растепляющих факторов поверхностных водоемов и водотоков, формируемых в бортах карьера, основании отвалов за счет инфильтрации атмосферных осадков, а также изменения температурного режима пород в районе хвостохранилища, расположенного на юго-восточном фланге, целесообразно применение комплекса мероприятий эффективного водосбора и водоотведения. Применение метода управления тепловым режимом криогенных массивов путем регулирования составляющих внешнего теплообмена и теплооборотов в криолитозоне с целью сохранения ММП или ограничения глубины их протаивания будет способствовать устойчивости бортов на верхних горизонтах карьера.

Список литературы

1. Дроздов А.В., Иост Н.А., Лобанов В.В. Криогидрогеология алмазных месторождений Западной Якутии. – Иркутск: Изд-во ИГТУ, 2008. – 507 с.
2. Инструкция по наблюдениям за деформациями бортов, откосов уступов и отвалов на карьерах и разработке мероприятий по обеспечению их устойчивости. Л.: ВНИМИ, 1971. – 188 с.
3. Мельников А.И., Алексеев С.В., Ружич В.В. и др. Оценка параметров техногенной активизации опасных геологических процессов в крупных горных выработках открытого типа (на примере карьера трубки Удачная) // Отечественная геология. – 2002. – № 5. – С. 20-24.
4. Методические указания по наблюдениям за деформациями бортов разрезов и отвалов, интерпретации их результатов и прогнозу устойчивости. – Л.: ВНИМИ, 1987. – 118 с.