

УДК 622.271.333:624.131.537

DOI: 10.18454/2313-1586.2016.04.075

Яковлев Алексей Викторович

кандидат технических наук,
заведующий лабораторией
открытой геотехнологии,
Институт горного дела УрО РАН,
620075, г. Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка, 58
e-mail: lubk_igd@mail.ru

Yakovlev Alexey V.

candidate of technical sciences,
the head of the laboratory
of surface geo-technology,
The Institute of mining UB RAS,
620075, Yekaterinburg,
58 Mamin-Sibiryak st.
e-mail: lubk_igd@mail.ru

**ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ФОРМИРОВАНИЯ БОРТОВ КАРЬЕРОВ
И ОТВАЛОВ****GEO-MECHANICAL SOFTWARE
OF PIT EDGES AND DUMPS FORMING***Аннотация:*

В статье рассмотрены проблемы и основные направления геомеханического обеспечения производства горных работ на карьерах и отвалах. Приведены главные причины деформаций прибортовых массивов и результаты исследований напряженно-деформированного состояния прибортовых массивов карьеров.

Ключевые слова: геомеханика, массив горных пород, напряженно-деформированное состояние, карьер, борт, отвал, устойчивость, деформации

Abstract:

The problems and main directions of geo-mechanical software of performing mining operations in open pits and dumps are considered. Both the main reasons of near-edge rock masses deformations and results of stressed-deformed near-edge rock masses researches are cited.

Key words: geo-mechanics, rock mass, stressed-deformed state, open pit, edge, dump, stability, deformations

Решение проблемы обеспечения долговременной устойчивости уступов и бортов имеет особую актуальность, так как от их параметров зависит безопасность разработки месторождений, а также объемы вскрыши и запасы полезного ископаемого в контурах карьеров. Производство горных работ в карьере сопровождается геомеханическими процессами, происходящими в прибортовых массивах по мере углубки и формирования выработанного пространства.

Геомеханика открытых горных работ [1] рассматривает вопросы устойчивости карьерных откосов, оценки несущей способности естественных и искусственных оснований, прогноза деформаций сдвига и уплотнения бортовых и отвальных массивов, направленного изменения и контроля состояния массивов горных пород в бортах карьеров, а также техногенных насыпных и намывных массивов отвалов, гидроотвалов и хвостохранилищ.

В течение последних двадцати лет в институтах ИГД УрО РАН, ГоИ КНЦ РАН, ВИОГЕМ и др. [2 – 10] проводятся исследования в области геомеханического обеспечения открытых горных работ, в которых раскрывается механизм деформирования скальных массивов под воздействием гравитационно-тектонического поля напряжений и приводятся результаты исследования и мониторинга напряженно-деформированного состояния (НДС) прибортовых массивов для прогнозирования устойчивости бортов карьеров. В этих исследованиях реализуются новые подходы к обоснованию устойчивости бортов карьеров, отмеченные в [11]: «Одним из важнейших предметов исследования в области открытой геотехнологии является управление напряженно-деформированным состоянием массива горных пород на базе выявленных закономерностей перераспределения первоначальных напряжений и деформаций пород в зонах техногенного воздействия».

Применительно к карьерам и отвалам задачами геомеханики являются: изучение геологического, структурно-тектонического строения и напряженно-деформированного

состояния (НДС) массива горных пород, инженерно-геологических и гидрогеологических условий разработки месторождений полезных ископаемых, физико-механических свойств пород, обоснование устойчивости бортов и уступов карьеров и отвалов по результатам геомеханических расчетов, мониторинг деформационного поведения и установление причин деформаций прибортовых массивов и отвалов.

Детализируем основные направления геомеханического обеспечения производства горных работ в карьерах:

- анализ факторов, влияющих на устойчивость бортов, уступов и отвалов;
- обоснование устойчивых параметров бортов и уступов карьеров;
- обоснование устойчивых параметров отвалов и их ярусов (максимальная высота ярусов, результирующие углы многоярусного отвала) в различных инженерно-геологических условиях;
- оценка возможности и условий безопасного ведения горных работ, геомеханическая экспертиза планов развития горных работ (годовой производственной программы);
- исследование структурно-тектонического строения, деформационного поведения и напряженного состояния прибортовых массивов, а также физико-механических свойств пород и их контактов для районирования карьера по зонам с различными условиями формирования устойчивых уступов и бортов и надежного обоснования и последующей корректировки устойчивых параметров уступов и бортов карьеров;
- оценка изменения инженерно-геологических и гидрогеологических условий при формировании выработанного пространства карьеров и отсыпке отвалов;
- прогноз, выделение границ и расчет ожидаемых опасных деформаций прибортовых и отвальных массивов;
- установление причин возникновения опасных деформаций, разработка рекомендаций по стабилизации оползневых явлений, участие в комиссиях по техническому расследованию причин аварий, вызванных развитием деформационных процессов;
- разработка рекомендаций (проектов наблюдательных станций) по производству инструментальных наблюдений на деформационных участках;
- прогноз возможных деформаций прибортовых и отвальных массивов по результатам натурных наблюдений;
- разработка рекомендаций по границам, объемам и составу исследований при проведении дополнительных инженерно-геологических изысканий;
- разработка рекомендаций или проектов (мероприятий) ведения горных работ в опасных зонах;
- организация инструментальных наблюдений в режиме мониторинга за деформированием и изменением параметров НДС прибортовых массивов;
- геомеханическая экспертиза технических решений, разработанных проектными или специализированными организациями;
- геомеханическое сопровождение производства буровзрывных работ (БВР) при постановке уступов в предельное положение посредством оптимизации параметров БВР по результатам изучения структуры массива и разработки технологии производства взрывных работ, обеспечивающей минимизацию разрушающих воздействий на законтурный массив;
- исследование структурного строения массива для обоснования категории взрываемости горных пород и оптимизации параметров БВР при производстве технологических взрывов.

Геомеханическое обоснование устойчивых параметров бортов и уступов карьеров и отвалов производится на всех стадиях освоения месторождения полезного ископаемого и проектных работ.

Первоначально на основании геологических отчетов, результатов детальных геологоразведочных работ, инженерно-геологических изысканий и испытаний физико-ме-

ханических свойств пород в проектной документации обосновываются предельные контуры бортов и отвалов. Как правило, проектные институты при обосновании устойчивости бортов карьеров и отвалов используют рекомендации специализированных организаций.

Проектные решения подвергаются государственной экспертизе, а в ряде предусмотренных законодательством случаев – экспертизе промышленной безопасности, после чего проектная документация допускается к применению на предприятии.

Производство горных работ в карьере в соответствии с проектной документацией не гарантирует отсутствие деформаций бортов, локальных участков бортов и уступов, особенно при формировании предельного контура карьера. Причины возникающих нарушений устойчивости прибортовых массивов могут быть разные в зависимости от геологических, инженерно-геологических, гидрогеологических условий и параметров борта на конкретном участке карьерного поля.

Деформации бортов в скальных массивах могут происходить как в виде внезапных обрушений, так и в виде вялотекущего деформационного процесса с периодическими сменами этапов тектонического и гравитационного деформирования, как это наблюдается, например, в массиве северо-западного борта Главного карьера ОАО «ЕВРАЗ КГОК». Здесь на протяжении многих лет отмечаются знакопеременные тектонические деформации с периодами активизации гравитационных процессов со скоростью смещения маркшейдерских реперов, достигающей 60 мм/сут, что, однако, не влечет за собой обрушения борта.

Выделим главные причины деформаций прибортовых массивов, присущие всем карьерам:

- несоответствие параметров уступов и бортов реальным инженерно-геологическим условиям участка деформации;
- слабая изученность массива на периферийных участках месторождения, в массивах которых отстраиваются предельные борта карьера;
- изменение инженерно-геологических, гидрогеологических условий и физико-механических свойств пород и их контактов при развитии внутрикарьерного пространства;
- отсутствие в законодательстве и нормативных документах четкой регламентации объемов, периодичности и сроков годности инженерно-геологических изысканий, необходимых для предупреждения опасных деформаций и для обоснования корректировки параметров устойчивости прибортовых массивов по мере углубки и подвигания горных работ в карьере;
- воздействие на массив тектонических сил, сопровождающееся изменением структурного строения и подвижности прибортовых массивов;
- отсутствие методики обоснования устойчивости откосов с учетом действующих тектонических напряжений в скальных массивах горных пород, утвержденной Ростехнадзором РФ.

В процессе производства горных работ условия устойчивости массивов изменяются в соответствии с трансформацией гравитационно-тектонического поля напряжений и динамикой размеров карьера в плане и по глубине, однако специализированные и проектные организации при корректировке проектов или при разработке рекомендаций и специальных проектов по ведению горных работ на оползневых участках зачастую основываются на результатах геологических и инженерно-геологических изысканий 50-летней давности.

Оценка уровня и направления действия главных напряжений является основой прогноза вероятных локальных нарушений устойчивости уступов или участков борта по нарушениям и протяженным трещинам, ориентированным под определенным спектром углов их залегания по отношению к направлению действия тектонических сил и простирацию борта. При отсутствии неблагоприятных дислокаций в массиве сжимающие

напряжения способствуют повышению устойчивости уступов и бортов карьера.

Нами проведены исследования по оценке тектонических напряжений в прибортовых массивах на ряде карьеров, в частности, на Коршуновском и Рудногорском карьерах ОАО «Коршуновский ГОК», Главном, Северном и Западном карьерах ОАО «ЕВРАЗ КГОК», Кiemбаевском асбестовом карьере ОАО «Оренбургские минералы». Методика исследований включает изучение геологического и структурно-тектонического строения, напряженного состояния и деформационного поведения прибортовых массивов карьеров [7].

На основе тектоно-физического метода оценки напряжений и метода дискования керна установлены величины максимальных сжимающих напряжений, которые, например, составляют на Коршуновском карьере 10 – 12 МПа, на Кiemбаевском асбестовом карьере 5 – 8 МПа, на Главном карьере АО «ЕВРАЗ КГОК» 10 – 15 МПа. Уровень этих напряжений вызывает подвижки и изменение структурного строения прибортовых массивов, а следовательно, условий устойчивости.

По мере углубки карьера и постановки верхних участков бортов в предельное положение появляется возможность детального исследования структурно-тектонического строения и НДС прибортовых массивов. На этой основе производится корректировка конструкции участков бортов, на которых проявляются или прогнозируются опасные деформации массива, особенно в зонах расположения транспортных берм.

Прогнозирование оползневых процессов возможно только на основании комплексного геомеханического мониторинга, включающего изучение структурно-тектонического строения и прочностных свойств массива, инструментальные наблюдения за деформированием различных участков прибортового массива, оценку уровня и направления действия тектонических сил, а также проведение геомеханических расчетов устойчивости с учетом тектонических напряжений.

Влияние тектонических напряжений на устойчивость прибортовых массивов на различных месторождениях и даже на различных участках бортов в пределах одного карьера проявляется индивидуально. Тектонические силы постоянно изменяются в связи с закономерностями геодинамики месторождения и изменением геометрии карьерного пространства в процессе производства горных работ.

Исследования динамики НДС прибортовых массивов карьеров Качканарского ГОКа проведены лабораториями открытой геотехнологии и сдвижения горных пород ИГД УрО РАН по организованному геодинамическому полигону в мониторинговом режиме с использованием комплекса спутниковой геодезии GPS.

За два года были выполнены четыре серии полевых инструментальных наблюдений, по которым формализованы совмещенные с планом карьеров результаты трех серий полугодовых периодов изменения деформаций и НДС исследуемого массива. В качестве примера на рис. 1 и 2 приведены результаты измерений смещений массива и формирования НДС за определенный промежуток времени.

Почти во всех прибортовых массивах преобладают растягивающие максимальные напряжения. Первоначально максимальные напряжения растяжения величиной +7,5 МПа были определены в районе южного борта Главного карьера. В последующих сериях наблюдений отмечается планомерная релаксация напряжений. Зона максимальных напряжений сжатия до -10 МПа была выявлена на участке, расположенном между Западным и Главным карьерами. Впоследствии здесь произошла трансформация НДС массива от сжатия к растяжению.

По результатам диагностики НДС и определения полных векторов смещений массива горных пород выявлено современное напряженно-деформированное состояние массива горных пород, установлены величины и направления главных напряжений σ_1 и σ_2 , их изменчивость во времени и переход из одного напряженного состояния в другое, определены зоны концентрации напряжений.

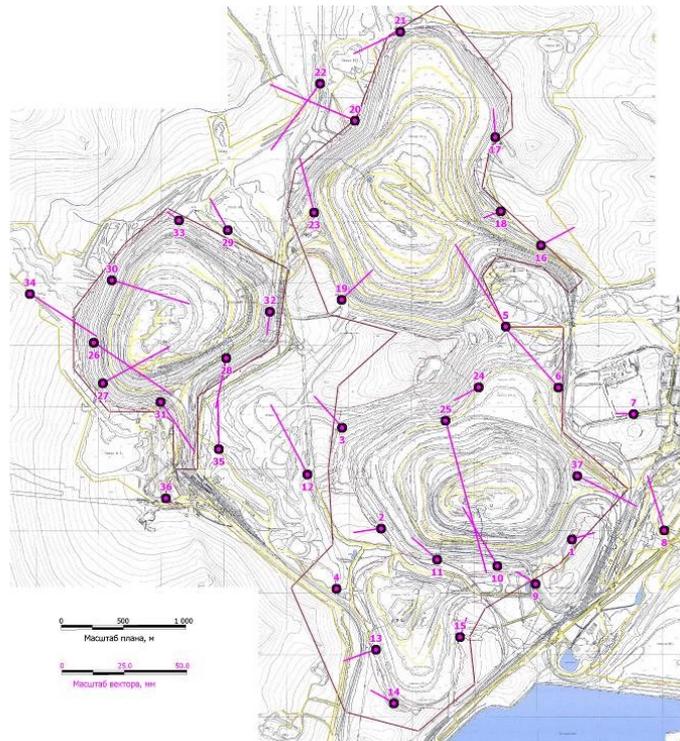
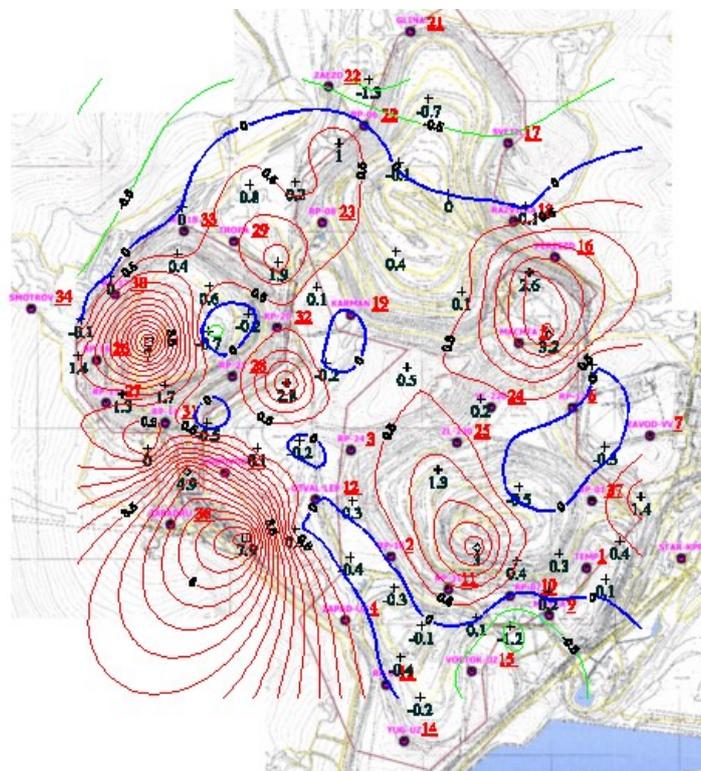


Рис. 1 – Схема горизонтальных сдвижений массива горных пород на карьерах ОАО «ЕВРАЗ КГОК» за период наблюдения с мая по октябрь 2011 г.



- Изолинии растягивающих напряжений.
- Изолинии сжимающих напряжений.

Рис. 2 – Схема распределения максимальных напряжений σ_1 в массиве горных пород на карьерах ОАО «ЕВРАЗ КГОК» за период наблюдения с мая по октябрь 2011 г.

Знание изменения НДС горного массива позволяет обоснованно решать проблемы сдвижения горных пород, выделять участки прибортовых массивов, в наибольшей степени подверженные воздействию тектонического поля напряжений, и прогнозировать устойчивость бортов карьеров.

Кроме того, повышение надежности обоснования устойчивости бортов карьеров является предпосылкой для укрупнения бортов в глубинной зоне карьеров, что обеспечивает увеличение объемов полезного ископаемого в контурах карьера без разноса вышележащих уступов, то есть без дополнительных объемов вскрышных работ.

В настоящее время накоплен существенный опыт исследования устойчивости скальных прибортовых массивов карьеров с учетом действия тектонических сил, разработаны расчетные методы обоснования устойчивости карьерных откосов в гравитационно-тектоническом поле напряжений, что послужит основой для разработки легитимной методики (инструкции) по обоснованию устойчивости откосов в скальных массивах (на рудных карьерах).

Литература

1. Гальперин А.М. Геомеханика открытых горных работ: учебник для вузов / А.М. Гальперин. – М.: Изд. МГГУ, 2003. – 473 с.
2. Оценка численным методом поля напряжений и деформаций в окрестности крупной карьерной выемки при последовательном учете геомеханических, геологических и горнотехнических факторов / А.А. Козырев и др. // Записки Горного института. – 2010. - Т. 185. – С. 55 - 60.
3. Исследование напряженно-деформированного состояния массива пород численными методами на основе данных натуральных измерений в окрестности крупной карьерной выемки / А.А. Козырев и др. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – № 11. – С. 78 - 89.
4. Закономерности перераспределения полей напряжений при формировании глубокой карьерной выемки / И.Э. Семенова и др. // Третья тектонофизическая конференция в ИФЗ РАН. Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле: сб. докладов Всероссийской конференции в 2-х томах. Том 2. – М.: ИФЗ РАН, 2012. – С. 326 - 330.
5. Управление горным давлением в тектонически напряженных массивах / А.А. Козырев, В.И. Панин, В.И. Иванов и др. – Апатиты: КНЦ РАН, 1996. - Ч.1 – 159 с.; Ч.2 – 162 с.
6. Яковлев А.В. Устойчивость бортов рудных карьеров при действии тектонических напряжений в массиве / А.В. Яковлев, Н.И. Ермаков. – Екатеринбург: УрО РАН, 2006. – 231 с.
7. Яковлев А.В. Методика изучения прибортовых массивов для прогнозирования устойчивости бортов карьеров / А.В. Яковлев, Н.И. Ермаков. – Екатеринбург: УрО РАН, 2008. – 78 с.
8. Яковлев В.Л. Оценка напряженного состояния прибортовых массивов карьеров / В.Л. Яковлев, А.В. Яковлев. – ФТПРПИ. – 2007. – № 3. – С. 36 - 44.
9. Яковлев А.В. Влияние тектонических напряжений на устойчивость бортов карьеров в скальных массивах / А.В. Яковлев // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – № 3. – С. 338 - 341.
10. Яковлев А.В. Мониторинг напряженно-деформированного состояния бортов карьеров ОАО «ЕВРАЗ КГОК» / А.В. Яковлев, А.А. Панжин, В.И. Ручкин / Мониторинг природных и техногенных процессов при ведении горных работ: Всероссийская науч.-техн. конф. с междунар. уч. (24-27 сентября 2013). – Апатиты, ГоИ КНЦ РАН. – 2013. – С. 83 - 92.
11. Горные науки. Освоение и сохранение недр Земли / РАН, АГН, РАЕН, МИА; под ред. К.Н. Трубецкого. – М.: Изд-во Академии горных наук, 1997. – 487 с.