

УДК 622.271.333:624.131.537

**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](mailto:lubk_igd@mail.ru)

**Переход Татьяна Максимовна**

ведущий инженер  
лаборатории открытой геотехнологии,  
Институт горного дела УрО РАН

**Шимкив Екатерина Сергеевна**

младший научный сотрудник  
лаборатории открытой геотехнологии,  
Институт горного дела УрО РАН

**АНАЛИЗ ДЕФОРМАЦИОННОГО  
ПОВЕДЕНИЯ МАССИВА  
СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО БОРТА  
ГЛАВНОГО КАРЬЕРА АО «ЕВРАЗ КГОК»\***

*Аннотация:*

Рассмотрена проблема обеспечения устойчивости северо-западного борта Главного карьера АО «ЕВРАЗ КГОК». Приведены результаты исследований деформационного поведения массива после начала производства горных работ по разному северо-западного борта (уменьшения гравитационной нагрузки) и воздействия на массив технологических взрывов. В прибортовом массиве различаются периоды гравитационного и тектонического деформирования. В начальный период производства взрывных и выемочно-погрузочных работ наблюдалось увеличение подвижности массива. Впоследствии по мере отработки верхней части массива происходило уменьшение средней скорости смещений реперов в направлении выработанного пространства карьера. Для снижения гравитационной нагрузки на массив рекомендуется уменьшить угол наклона верхней части борта путем вовлечения в отработку одновременно нескольких уступов.

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

DOI: 10.25635/2313-1586.2018.03.089

**Yakovlev Aleksey V.**

Candidate of Technical Sciences,  
Head of the laboratory of open geotechnology,  
Institute of Mining UB RAS,  
620075, Ekaterinburg,  
Mamina-Sibiryaka str., 58  
e-mail: [lubk\\_igd@mail.ru](mailto:lubk_igd@mail.ru)

**Perekhod Tatyana M.**

Leading Engineer  
of the laboratory of open geotechnology,  
Institute of Mining UB RAS

**Shimkiv Ekaterina S.**

Junior Research Worker  
of the laboratory of open geotechnology,  
Institute of Mining UB RAS

**ANALYSIS OF DEFORMATION PROCESS  
ON THE NORTH-WEST SIDE  
OF THE MAIN QUARRY  
OF JSC "EVRAZ KGOK"**

*Abstract:*

The article considers the problem of ensuring the stability of the North-West side of the Main quarry of JSC "EVRAZ KGOK". The results of studies of the deformation process of the rock mass after the start of mining operations on the separation of the North-West side (reducing the gravitational loading) and the impact of technological explosions on the array are given. In the on-side adjacent rock mass of the array different periods of gravitational and tectonic deformation have been noted. In the initial realizing period of blasting and loading operations an increase in the mobility of the array had been noticed. In the subsequent period of working process on the upper part of the array there has been noted a decrease in the average speed of displacement of reference points in the direction of the worked out quarry space. To reduce the gravitational loading on the array, it is recommended to reduce the angle of inclination of the upper part of the quarry side by simultaneously involving of several ledges in the developing process.

*Key words:* quarry, side, stability, rock mass, stress-strain state, deformations

\* Статья подготовлена при выполнении Проекта № 18-5-5-10 «Обоснование методов и этапов адаптации горнотехнологических систем к изменяющимся условиям разработки сложноструктурных глубокозалегающих месторождений» (№ 0405-2018-0001).

## Введение

Деформирование бортов карьеров в скальных массивах вызывается совместным воздействием гравитационного и тектонического полей напряжений [1 – 10]. По мере формирования выработанного пространства карьера наблюдается постоянная трансформация тектонического поля напряжений. Возникновение оползневых процессов и формирование поверхностей скольжения происходит в результате неупругого деформирования отдельных участков массива. Следствием тектонической подвижности массива является выделение оползневой призмы после объединения существующих и вновь образовавшихся дефектов массива в поверхность или зону скольжения с последующим перемещением оползня в направлении выработанного пространства карьера под воздействием гравитации.

Главными факторами в оценке устойчивости бортов карьеров являются напряженное состояние массива, его нарушенность различными по ориентации и генезису дизъюнктивами и геометрические параметры борта.

Ранее нами были 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 АО «ЕВРАЗ КГОК», Киембаевском асбестовом карьере ОАО «Оренбургские минералы» [11 – 17]. Методика исследований включает изучение геологического и структурно-тектонического строения, напряженного состояния и деформационного поведения прибортовых массивов карьеров [18]. Методы и особенности организации мониторинга геодинамических процессов с использованием комплексов GNSS для контроля за развитием процесса сдвижения горных пород с получением полного тензора деформаций и трехмерной модели массива отражены в [19, 20].

Мониторинговые исследования подвижности прибортовых массивов показывают, что тектоническое поле напряжений в различные периоды времени генерирует разнонаправленные и различные по амплитуде смещения массива, что приводит к дезинтеграции массива, разрушению междублочных связей, подвижкам по существующим трещинам и нарушениям и возникновению новых трещин, снижению прочностных свойств массива. Тектонические процессы трансформации поля напряжений в прибортовом массиве, сопровождающиеся взаимным перемещением смежных блоков по шву залеченных трещин и нарушений, возникновением новых трещин отрыва и сдвига, происходят очень продолжительное время. Когда происходит релаксация тектонических напряжений, структурное строение массива существенно отличается от того, что было до начала тектонических деформаций. Сдвиговые деформации не только сокращают поверхность соприкосновения висячего и лежащего крыльев трещин и нарушений, но и вызывают снижение прочностных свойств по контактам. Разуплотненный массив насыщен разноориентированными трещинами, генерированными тектоническими напряжениями. В спектре тектонических дислокаций всегда находятся пологопадающие поверхности ослабления, возникшие на первой стадии тектонической дезинтеграции, и крутопадающие структуры с падением в сторону поверхности обнажения, возникшие в конце тектонического этапа деформирования. Эти структуры и представляют опасность для развития оползневых деформаций разуплотненной породной области.

Все эти процессы наблюдаются в массиве северо-западного борта Главного карьера АО «ЕВРАЗ КГОК». Проблема устойчивости этого борта возникла в середине семидесятых годов прошлого столетия. С тех пор генеральное сдвижение массива происходит в направлении выработанного пространства карьера со средней скоростью 1 – 2 мм в сутки с периодами активизации и затухания деформаций.

### *Экспериментальные исследования*

Регулярные маркшейдерские наблюдения за деформациями прибортового массива в районе оползневого участка по наблюдательной станции, заложенной сотрудниками ИГД УрО РАН при содействии маркшейдерской службы рудоуправления

АО «ЕВРАЗ КГОК», проводятся нами ежегодно (2 – 3 серии наблюдений в год) с 2004 г. Для установления объемной картины деформирования борта забивные реперы были заложены на нескольких горизонтах оползневой зоны, причем крайние реперы на каждом из горизонтов были вынесены за пределы оползня.

Деформационная активность исследуемого оползневого участка определялась сопоставлением пространственных координат реперов наблюдательной станции, полученных в мониторинговом режиме. Пространственные координаты реперов наблюдательной станции для каждой серии измерений определялись с использованием электронного тахеометра, обеспечивающего точность угловых измерений 2" и измерение расстояний с погрешностью 2 мм+1 ppm.

Измерения производились двумя способами:

– прямыми засечками рабочих реперов непосредственно на горизонте карьера с привязкой опорных реперов методом обратных засечек к пунктам опорной маркшейдерской сети карьера;

– прямыми засечками реперов наблюдательной станции с двух базовых пунктов, расположенных на противоположном борту карьера и оборудованных столиками для установки тахеометра.

Камеральная обработка результатов измерений производилась в программном комплексе Credo-DAT (Инженерная геодезия).

По изменениям координат реперов вычислялись полные пространственные векторы смещений, а также величины вертикальных и горизонтальных деформаций массива и скорости их приращений.

Основными параметрами для характеристики деформаций массива являются скорость перемещения (сдвигения) реперов; относительные деформации; азимутальный вектор направленности перемещений; вертикальный угол сдвигения; амплитуды оседания или воздымания реперов.

По мере развития горных работ наблюдательная станция пополнялась новыми реперами. В настоящее время инструментальные наблюдения проводятся по наблюдательной станции, состоящей из восьми профильных линий, заложенных на горизонтах: 400 м (3 репера), 355 м (7 реперов), 280 м (17 реперов), 220 м (3 репера), 205 м (5 реперов), 190 м (5 реперов) и 175 м (4 репера).

С 2014 г. началось производство горных работ по разному северо-западного борта в соответствии с проектом АО «Институт Уралгипроруда» и «Специальным проектом безопасной отработки оползневого участка северо-западного борта Главного карьера» (ИГД УрО РАН).

Целью исследований 2014 – 2017 гг. является анализ деформационного поведения массива по мере разнеса северо-западного борта (уменьшения гравитационной нагрузки) и воздействия на массив технологических взрывов.

#### *Анализ результатов*

Анализ деформационного поведения массива проведен по результатам инструментальных наблюдений с 14.10.2014 по 06.09.2017 с использованием результатов инструментальных наблюдений маркшейдерской службы РУ АО «ЕВРАЗ КГОК» по профильной линии, реперы которой расположены на различных горизонтах вкрест простирания северо-западного борта.

В прибортовом массиве различаются периоды гравитационного и тектонического деформирования. В периоды тектонического деформирования наблюдаются разнонаправленные перемещения отдельных участков массива, в том числе по простиранию борта и в массив, часто со сменой направления перемещения реперов на противоположное в смежных сериях наблюдений (табл. 1, рис. 1).

Таблица 1

Количественная характеристика направлений сдвижения реперов

Горизонт, м	Количество реперов, шт.																	
	06.2015 г.			10.2015 г.			05.2016 г.			10.2016 г.			05.2017 г.			10.2017 г.		
	в массив	по уступу	в карьер	в массив	по уступу	в карьер	в массив	по уступу	в карьер	в массив	по уступу	в карьер	в массив	по уступу	в карьер	в массив	по уступу	в карьер
400		2	3	3		1			4	1	2	1		1	2		2	1
355		4	3	5	2				7	3	3	1	1	2	4		7	
280	13	1	1		1	16			15	4	3	10	1		16	4	10	4
220	1	1	1	1		2			3		3		3	3		3		
205	5			5					5	5			2	1	2		2	2
190	5			2		3			5	1		4			1		1	
175	1		3	1	3				4	2	2				4		4	
Всего	25	8	11	18	6	22	0	0	43	16	13	16	4	7	32	4	29	7

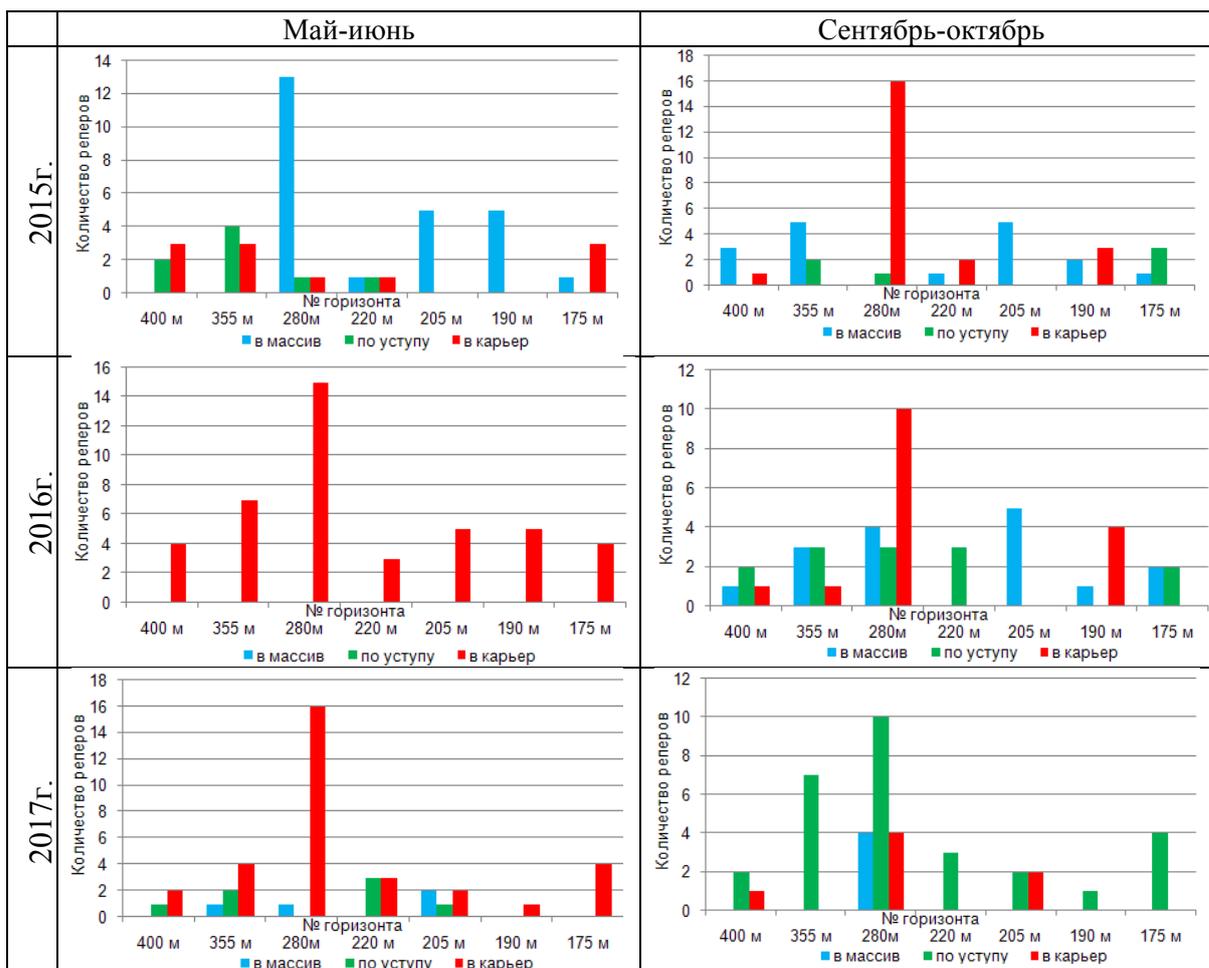


Рис. 1 – Изменение направлений сдвижения реперов по наблюдательной станции ИГД УрО РАН

В начальный период производства взрывных и выемочно-погрузочных работ наблюдалось увеличение подвижности массива до 3 мм/сут (рис. 2).

В период с мая по октябрь 2015 г. около половины реперов наблюдательной станции смещалось в направлении выработанного пространства карьера, затем с октября 2015 г. по май 2016 г. сдвигения всех реперов были направлены в карьер, но амплитуда перемещений снизилась почти вдвое.

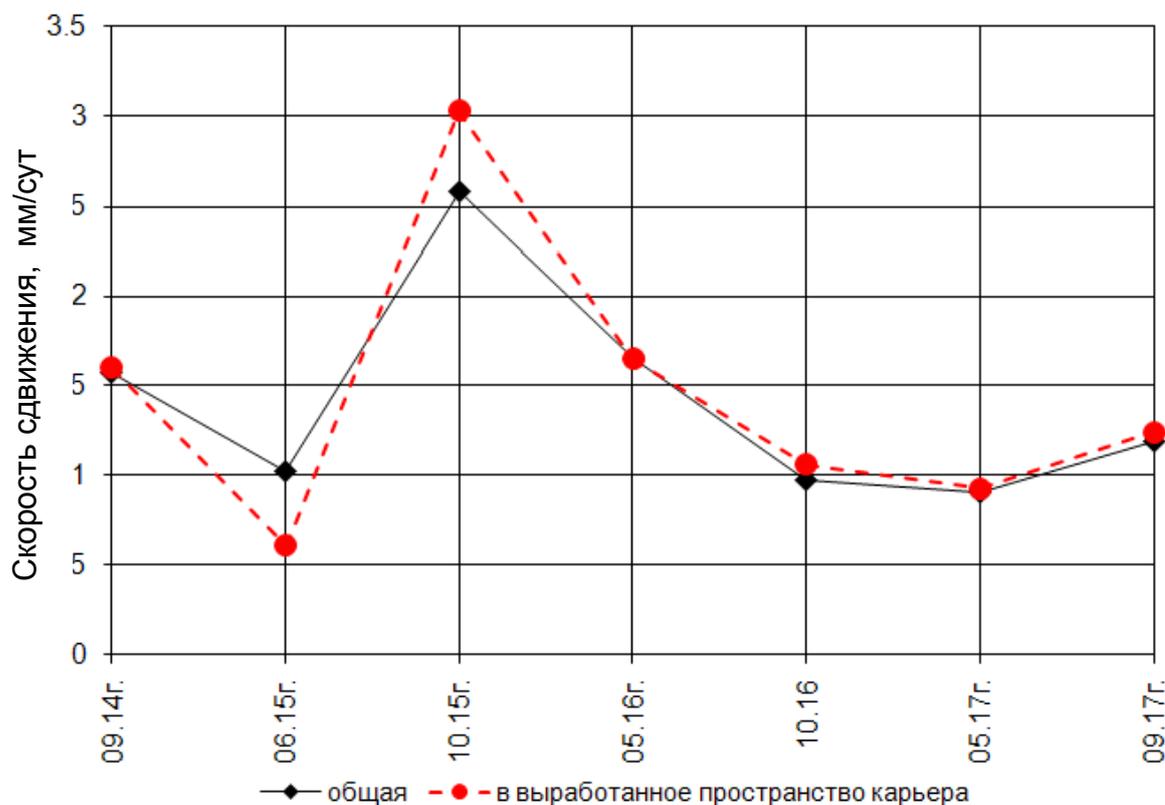


Рис. 2 – Средние скорости сдвижения реперов по периодам наблюдений

В период с октября 2015 г. по сентябрь 2017 г. наблюдалось постепенное уменьшение деформаций массива до 1 мм/сут, что несколько ниже средней многолетней («фоновой») скорости смещений массива.

Средняя скорость смещения реперов в мае – сентябре 2017 г. составила 1,24 мм/сут при существенном уменьшении количества реперов (до семи) с перемещением в направлении выработанного пространства карьера.

В настоящее время по результатам наблюдений, проведенных в мае 2018 г., сдвигение массива в направлении выработанного пространства карьера происходит только на трех горизонтах:

- 355 м (3 репера из 7) со скоростью смещения 0,6 – 1,5 мм/сут;
- 280 м (11 реперов из 17) со скоростью смещения 0,2 – 0,5 мм/сут;
- 220 м (2 репера из 3) со скоростью смещения 0,2 – 0,8 мм/сут.

Средняя скорость сдвижения массива в направлении выработанного пространства карьера за восемь месяцев уменьшилась с 1,24 мм/сут до 0,5 мм/сут.

По результатам наблюдений маркшейдерской службы рудоуправления АО «ЕВРАЗ КГОК» по профильной линии, реперы которой расположены на различных горизонтах вкост простирания северо-западного борта, в период с октября 2017 г. по апрель 2018 г. года средняя скорость смещения реперов составила 0,3 мм/сут, смещение массива в направлении выработанного пространства карьера отмечено на горизонтах: 370 м (0,4 мм/сут), 340 м (0,4 мм/сут), 280 м (0,2 – 0,4 мм/сут), 250 м (0,2 мм/сут).

### Выводы

1. Деформирование северо-западного борта Главного карьера АО «ЕВРАЗ КГОК» вызывается совместным воздействием гравитационного и тектонического полей напряжений. Генеральное смещение массива происходит в направлении выработанного пространства карьера.

2. В прибортовом массиве различаются периоды гравитационного и тектонического деформирования. В периоды тектонического деформирования наблюдаются разнонаправленные перемещения отдельных участков массива, в том числе по простиранию борта и в массив, часто со сменой направления перемещения реперов на противоположное в смежных сериях наблюдений.

3. В начальный период производства взрывных и выемочно-погрузочных работ наблюдалось увеличение подвижности массива до 3 мм/сут. В последующем по мере отработки верхней части массива происходило уменьшение средней скорости смещений в направлении выработанного пространства карьера в периоды с октября 2015 г. по май 2016 г. – до 1,7 мм/сут; с мая 2016 г. по октябрь 2017 г. – до 0,9 – 1,2 мм/сут; с октября 2017 г. по май 2018 г. – до 0,3 – 0,5 мм/сут.

4. Производство горных работ по разному верхней части северо-западного борта оказало положительное влияние на стабилизацию устойчивости массива.

5. Несмотря на уменьшение деформаций, в дальнейшем прогнозируются периоды некоторой активизации оползневых процессов на фоне совместного воздействия на массив тектонического и гравитационного полей напряжений.

6. Для снижения гравитационной нагрузки на массив предлагается уменьшить угол наклона верхней части борта путем вовлечения в отработку одновременно нескольких уступов.

### Литература

1. Курленя М.В. Проблемы нелинейной геомеханики. Ч.1 / М.В. Курленя, В.Н. Опарин // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 1999. – № 3. – С. 12 – 26.

2. Курленя М.В. Проблемы нелинейной геомеханики. Ч.2 / М.В. Курленя, В.Н. Опарин // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2000. – № 4. – С. 3 – 26.

3. Кропоткин П.Н. Тектонические напряжения в земной коре по данным непосредственных измерений / П.Н. Кропоткин // Напряженное состояние земной коры (по измерениям в массивах горных пород). – М.: Наука, 1973. – С. 21 – 31.

4. Савченко С.Н. К вопросу об оценке величины горизонтальных тектонических напряжений в Евразийской литосферной плите / С.Н. Савченко // Проблемы разработки месторождений полезных ископаемых и освоения подземного пространства Северо-Запада России: в 3х ч.: Ч. 3. – Апатиты: ГоИ КНЦ РАН, 2001. – С. 26 - 33.

5. Геомеханические аспекты проблемы открытой разработки месторождений / В.Л. Яковлев, А.Д. Сашурин, А.В. Зубков, А.В. Яковлев // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2001. – № 4. – С. 32 – 35.

6. Яковлев А.В. Деформирование бортов карьеров в тектонически напряженных массивах / А.В. Яковлев // Проблемы и тенденции рационального и безопасного освоения георесурсов: Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием, посвященная 50-летию Горного института КНЦ РАН. – Апатиты, Санкт-Петербург, 2011. – С. 334 – 339.

7. Геодинамические реконструкции: методическое пособие для региональных геологических исследований / под ред. В.А. Унксова. – Л.: Недра, 1989. – 278 с.

8. Гзовский М.В. Основы тектонофизики / М.В. Гзовский. – М.: Наука, 1975. – 536 с.

9. Гущенко О.И. Кинематический принцип реконструкции направления главных напряжений (по геологическим и сейсмическим данным) / О.И. Гущенко // Доклады Академии наук СССР. – 1975. – Т. 225. – № 3. – С. 557 – 560.
10. Яковлев В.Л. Оценка напряженного состояния прибортовых массивов карьеров / В.Л. Яковлев, А.В. Яковлев // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2007. – № 3. – С. 36 – 45.
11. Роль тектонических деформаций породного массива в формировании оползневых явлений на Коршуновском карьере / А.Д. Сашурин, А.В. Яковлев, Н.И. Ермаков, А.А. Панжин, В.А. Наумов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2003. – № 2. – С. 193 – 196.
12. Яковлев А.В. Контроль за состоянием оползневого участка Главного карьера Качканарского ГОКа методом электрометрии / А.В. Яковлев, Н.И. Ермаков // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2004. – № 6. – С. 85 – 87.
13. Яковлев А.В. Тектоническая дезинтеграция массива потенциально оползневого участка Главного карьера Качканарского ГОКа / А.В. Яковлев, М.С. Волкодаева, Н.И. Ермаков // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2004. – № 7. – С. 32 – 39.
14. Яковлев А.В. Геодинамические индикаторы в прибортовом массиве Главного карьера Качканарского ГОКа / А.В. Яковлев, С.Н. Тагильцев, Н.И. Ермаков // Геомеханика в горном деле: докл. междунар. конф. 5 – 8 июля 2005 г. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2005. – С. 44 – 53.
15. Яковлев А.В. Устойчивость бортов рудных карьеров при действии тектонических напряжений в массиве / А.В. Яковлев, Н.И. Ермаков. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2006. – 231 с.
16. 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 научно-техническая конференция с международным участием (24 - 27 сентября 2013). – Апатиты: ГоИ КНЦ РАН, 2013. – С. 83 – 92.
17. Яковлев А.В. Изучение влияния напряженно-деформированного состояния прибортовых массивов на устойчивость участков бортов Главного карьера Качканарского ГОКа / А.В. Яковлев, Е.С. Бусаргина // Геомеханика в горном деле: Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием (1 - 3 октября 2013) / ИГД УрО РАН. – Екатеринбург, 2014. – С. 391 – 397.
18. Яковлев А.В. Методика изучения прибортовых массивов для прогнозирования устойчивости бортов карьеров / А.В. Яковлев, Н.И. Ермаков. – Екатеринбург: УрО РАН, 2008. – 78 с.
19. Панжин А.А. Пространственно-временной геодинамический мониторинг на объектах недропользования / А.А. Панжин // Горный журнал. – 2012. – № 1. – С. 39 – 43.
20. Панжин А.А. Об особенностях проведения геодинамического мониторинга при разработке месторождений полезных ископаемых Урала с использованием комплексов спутниковой геодезии / А.А. Панжин, Н.А. Панжина // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых – 2012. – № 6. – С. 46 – 55.