

УДК 550.8 : 622.271

**Яницкий Евгений Брониславович**  
кандидат географических наук,  
заместитель генерального директора  
по научной работе и развитию,  
ОАО «ВИОГЕМ»,  
308007, г. Белгород, пр. Б. Хмельницкого, д. 86

**Дунаев Владимир Александрович**  
доктор геолого-минералогических наук,  
профессор, заведующий отделом,  
ОАО «ВИОГЕМ»  
e-mail: [Dunaev\\_VA@geomix.ru](mailto:Dunaev_VA@geomix.ru)

**Овсянников Александр Николаевич**  
старший научный сотрудник,  
ОАО «ВИОГЕМ»  
e-mail: [Ovsyannikov\\_an@geomix.ru](mailto:Ovsyannikov_an@geomix.ru)

**Агарков Иван Борисович**  
научный сотрудник,  
ОАО «ВИОГЕМ»  
e-mail: [aib290590@rambler.ru](mailto:aib290590@rambler.ru)

**ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ УСТУПОВ  
КАРЬЕРОВ, РАЗРАБАТЫВАЮЩИХ  
МЕСТОРОЖДЕНИЯ АЛМАЗОВ ЯКУТИИ  
(НА ПРИМЕРЕ КАРЬЕРОВ  
"ЮБИЛЕЙНЫЙ" И "ЗАРНИЦА")**

*Аннотация:*

На примере карьеров «Зарница» и «Юбилейный» показано, что преобладание во вмещающих алмазоносные трубки Якутии массивах горных пород субвертикальных и субгоризонтальных разрывных нарушений исключает проявление типичных деформаций откосов уступов (клиновых, плоских и др.). Деформирование откосов уступов заключается, главным образом, в осыпании горных пород вследствие их криогенного выветривания. Вместе с тем при наличии протяженных трещин, субвертикальных простиранию уступа и падающих в массив горных пород возможно обрушение откоса путем опрокидывания элементарных породных блоков, а по сильно обводненным участкам субгоризонтальных нарушений в откосе образуются деформации со сложной геометрией их границ и углублением в породный массив с образованием нависающих над уступом козырьков горных пород. Для прогнозирования дальнейшего развития установленных деформаций необходим их мониторинг путем периодического лазерного сканирования с оценкой скорости разрастания деформаций.

*Ключевые слова:* месторождения алмазов, карьер, криогенное выветривание, разрывные нарушения, трещиноватость, осыпание породных блоков, деформация откоса уступа, геомониторинг

DOI: 10.25635/2313-1586.2018.03.119

**Yanitsky Evgeny B.**  
Candidate of Geographical Sciences,  
Deputy General Director for Research  
and Development,  
OAO "VIOGEM",  
308007, Belgorod, Khmel'nitsky avenue, 86

**Dunaev Vladimir A.**  
Doctor of Geological and Mineralogical Sciences,  
Professor, Head of Department,  
OAO "VIOGEM"  
e-mail: [Dunaev\\_VA@geomix.ru](mailto:Dunaev_VA@geomix.ru)

**Ovsyannikov Alexander N.**  
Senior Research Worker,  
OAO "VIOGEM"  
e-mail: [Ovsyannikov\\_an@geomix.ru](mailto:Ovsyannikov_an@geomix.ru)

**Agarkov Ivan B.**  
Research Worker,  
OAO "VIOGEM"  
[aib290590@rambler.ru](mailto:aib290590@rambler.ru)

**ESTIMATION OF LEDGES' STABILITY IN  
OPEN PITS DEVELOPING DIAMONDS  
DEPOSITS OF YAKUTIA  
(ON EXAMPLE OF CAREERS  
"YUBILEYNY" AND "ZARNITSA")**

*Abstract:*

The predominance of subvertical and subhorizontal disjunctive dislocations in the enclosing rocks of the kimberlites in Yakutia excludes the manifestation of typical deformations of the ledges slopes (wedge, flat etc.), as exemplified in the "Zarnitsa" and "Yubileyny" quarries. The deformation of the ledges slopes consists chiefly in the crumble of rocks because of their cryogenic weathering. Collapsing of the ledge by overturning elementary rock blocks is possible, if there are long cracks that are subparallel to the slope plane and fall into the rock massif. Deformations with a complex geometry of their boundaries and a deepening into the rock massif, which form the overhangs of rocks overhanging over the ledge are formed over the heavily watered areas of subhorizontal cracks in the slope. It is necessary to monitor deformations by periodic laser scanning with the estimation of the rate of deformations growth in order to predict the further development of established deformations.

*Key words:* deposits of diamonds, quarry, cryogenic weathering, breaking disruptions, fracturing, rambling of rock blocks, deformation of ledge slope, geomonitoring

В процессе открытой разработки коренных месторождений алмазов важнейшей задачей геолого-маркшейдерского персонала является обеспечение безопасности горных работ при оптимальных параметрах уступов с учетом особенностей геологического строения этих месторождений и пребывания их в зоне многолетней мерзлоты. По инициативе АК «АЛРОСА» специалисты ОАО «ВИОГЕМ» на примере карьеров "Зарница" и "Юбилейный" (Далдыно-Алакитский алмазодобывающий район) разработали и реализовали с использованием современных технических возможностей и авторской ГИС ГЕОМИКС методику полевых исследований и обработки их результатов, оценки устойчивости поставленных в конечное положение уступов с выделением потенциально опасных участков, документации свершившихся деформаций, мониторинга состояния откосов уступов на участках зафиксированных деформаций. Реализация этой методики осуществлялась согласно такой последовательности действий:

- Рекогносцировочное прохождение по бортам карьера с визуальной оценкой геолого-структурной обстановки в их откосах, уточнением границ участков для проведения геолого-структурных маршрутов.

- Аэрофотосъемка поверхности откосов уступов посредством квадрокоптера, реконструкция полученных фотографий с применением ПО AgisoftPhotoscan в плотное облако точек, а затем в текстурированную (с фотоизображением) трехмерную цифровую модель поверхности карьера с последующей обработкой облака точек в модуле АСНИ Облако 3d системы ГИС ГЕОМИКС, позволяющей определять азимутально-угловые параметры структурных элементов, представленных недоступными для натуральных измерений открытыми плоскостями.

- Получение координатно привязанных фотопанорам уступов карьера и ортотрансформация текстур трехмерной модели карьера, что позволило устранить перспективные искажения фотоснимков. Общая фотопанорама бортов карьера с вынесенными пикетами маршрутов использовалась для увязки между маршрутами крупных трещин, разломов и геологических контактов горных пород.

- Прохождение намеченных геолого-структурных маршрутов с координатной привязкой замеров элементов залегания разрывных нарушений по ортофотопанораме с точностью до 1,0 м, геолого-структурная документация откосов уступов (определение типа, текстуры и структуры пород, выделение систем трещин и характеристика участков со сменой интенсивности трещиноватости, определяемой по цифровой модели уступов путем подсчета количества трещин каждой системы).

Азимутально-угловые параметры задокументированных структурных элементов измерялись гироскопическим трещиномером ГТ-3М. При невозможности натурального замера вследствие расположения этих элементов в верхней части уступа или отсутствия проходной бермы азимут и угол падения рассчитывались в программе ГИС ГЕОМИКС по установленному с использованием лазерного сканера "RIEGL 4000" облаку точек, лежащих на поверхности плоскости ослабления массива [1]. Все результаты замеров азимутально-угловых характеристик с координатной привязкой каждого значения объединялись в интерактивную базу данных с возможностью их визуализации на геолого-структурном плане карьера.

Особенности разрывной структуры породных массивов в откосах карьеров "Зарница" и "Юбилейный" установлены путем их натурального изучения и последующей обработки полученных данных в ГИС ГЕОМИКС с использованием полярной диаграммы, построенной непосредственно на полусфере, что исключило погрешность в определении элементов ориентировки полюсов систем нарушений с крутыми (субвертикальными) углами падения, характерными для месторождений алмазов Якутии.

В карьере "Зарница", изученном по всей его окружности, в интервале по высоте от +410 до +360 м установлено 72 разрывных нарушения и выполнено 115 измерений их ориентировки. На диаграмме (рис. 1) видно, что разрывная структура породного массива карьера "Зарница" представлена нарушениями трех систем (А, Б, В) (табл. 1)

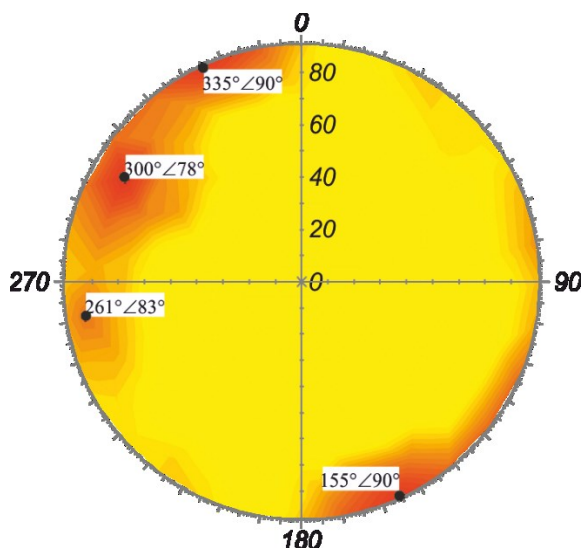


Рис. 1 – Полярная диаграмма ориентировки разрывных нарушений карьера "Зарница"

Таблица 1

Средние азимутально-угловые параметры систем разрывных нарушений

Система	Азимут падения, град	Угол, град
А	300	78
Б	335(155)	90
В	261	83

Разрывные нарушения всех систем – это различной раскрытости трещины, заполненные льдом. Степень раскрытости трещин каждой системы: А – от 0,05 – 0,08 до 0,2 м; Б – от первых см до 6 – 7 м; В – от 0,05 – 0,15 до 0,6 м. Они проявлены, главным образом, в зонах интенсивной трещиноватости шириной около 100 м на расстоянии 10 – 25 м между соседними нарушениями (рис. 2). Размер элементарного породного блока в этих зонах – до 0,3 – 0,5 м, а в окружающих их слабонарушенных частях породного массива – 0,8 – 1,0 м.

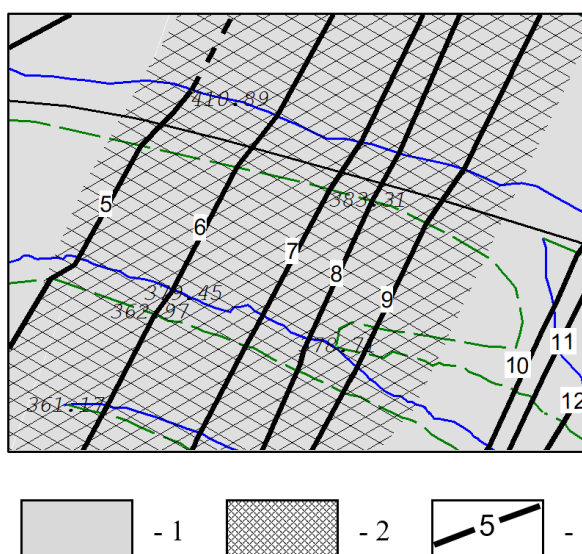


Рис 2 – Задокументированные разрывные нарушения системы А в северном борту карьера "Зарница":

1 – известняки; 2 – зона интенсивной трещиноватости; 3 – разрывное нарушение и его номер

На исследованной авторами восточной части карьера "Юбилейный" в интервале на глубине +530÷485 м задокументировано 15 разрывных нарушений, которые по особенностям проявления разделяются на две группы. Первая из них, включающая большинство нарушений (11), представлена зонами шириной от 5 – 8 до 25 – 39 м с повышенной трещиноватостью вмещающих пород и наличием расположенных на расстоянии 2,5 - 5,0 м друг от друга субпараллельных разрывов мощностью до 0,1 м в виде заполненных льдом трещин длиной до 50 м и более.

В границах зон разрывных нарушений первой группы минимальный размер элементарного блока горных пород (0,67 – 1,0 м). В разделяющих эти нарушения участках породного массива он приближен к 2,0 м, а в непосредственной близости от границ нарушений уменьшается, иногда до 1,0 м. В краевых частях изученного участка карьера "Юбилейный" за пределами комплекса сближенных разрывных нарушений первой группы размер элементарного структурного блока составляет 2,0 м.

Большинство (7) этих зон, как и расположенных в них разрывов, имеют субширотное простирание и субвертикальное падение. Азимут падения разрывов 347 – 354° (ср. 348°) и 170 – 174° (ср. 172°), а угол падения, соответственно, 83 и 87°. Остальные 4 зоны, расположенные в юго-восточной части карьера, имеют северо-восточное простирание. Азимут падения зафиксированных в них разрывов 270 – 309° (ср. 290°), а угол падения 78 – 89° (ср. 84°).

Разрывные нарушения второй группы являются генетическими аналогами упомянутых выше нарушений в зонах повышенной трещиноватости карьеров "Зарница" и "Юбилейный". Это заполненные льдом прямолинейные разрывы, три из которых мощностью до 0,1 м субширотного (80°) простирания и субвертикального падения (аз. пад. 170 ∠88°) расположены на севере восточной части карьера, а четвертый мощностью 0,15 м залегает субгоризонтально согласно слоистости пород и прослеживается по всему уступу +530÷485 м исследованного участка карьера (см. рис. 4).

Надо сказать, что, несмотря на небольшое (15) число задокументированных разрывных нарушений, четко проявлены, как и в карьере "Зарница" (см. табл. 1), системы разрывных нарушений А (ср. аз. и угол пад. – 290 ∠84°) и Б (ср. аз. и угол пад. – 348 ∠83° и 170 ∠87°). Анализ полярных диаграмм ориентировки трещин отдельности горных пород показал хорошо выраженную их системность на всей площади карьера "Зарница" и на изученном участке карьера "Юбилейный" (рис. 3, табл. 2)

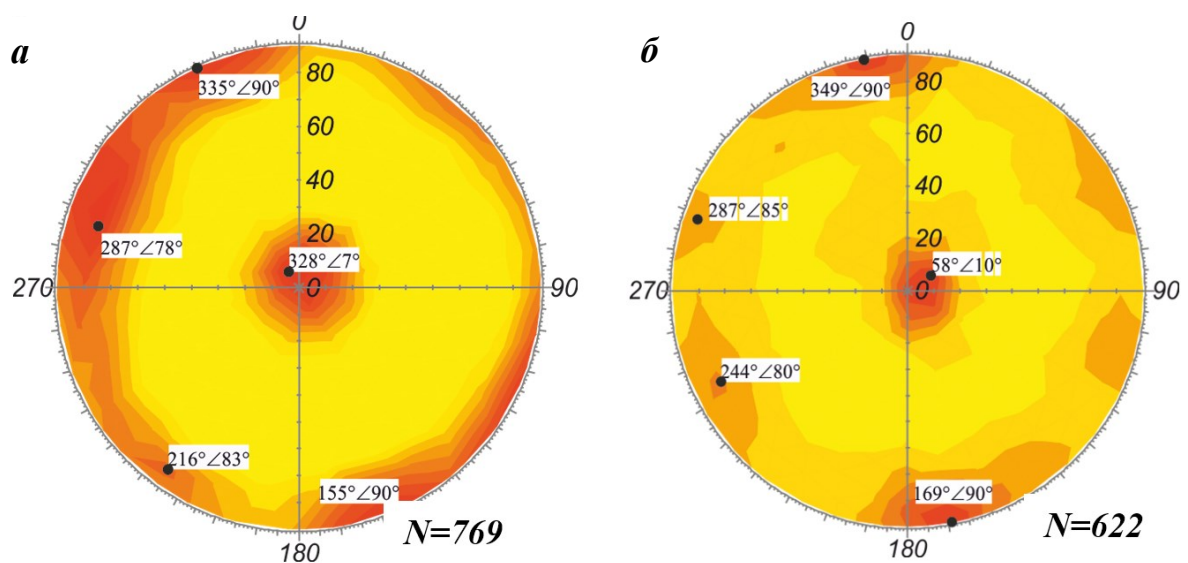


Рис. 3 – Полярные диаграммы ориентировки трещин отдельности горных пород в карьерах "Зарница"(а) и "Юбилейный" (б)

Таблица 2

## Усредненная ориентировка систем трещин отдельности горных пород в карьерах "Зарница" и "Юбилейный"

Система	Азимут падения, град	Угол падения, град
Карьер "Зарница"		
а	287	78
б	335   155	90
в	216	83
г	328	7
Карьер "Юбилейный"		
а	287	85
б	349   169	90
в	244	80
г	58	10

Наиболее проявлены трещины системы "б", ориентировка которых аналогична ориентировке системы транскарьерных разломов – основных тектонических структур, определяющих направление векторов напряжений в породном массиве. Элементарные блоки пород формировались с обязательным участием субгоризонтальных трещин системы "г" и субвертикальных трещин системы "б", а трещины "а" или "в" дополняли их на различных участках карьера, определяя тем самым геометрию горизонтального разреза элементарного блока.

В карьере "Зарница" трещины системы "а" проявлены в 4 из 9 доменов и образуют с трещинами системы "б" элементарные блоки со средним углом между ними  $64^\circ$ , а трещины системы "в" локализованы в 5 доменах (средний угол между трещинами "б" и "в" равен  $96^\circ$ ). В карьере "Юбилейный" трещины системы "а" присутствуют на всем изученном участке, но в меньшей степени, чем трещины системы "б" (наиболее проявленной) и "в". Средний угол между образующими элементарные блоки трещинами "б" и "а" равен  $57^\circ$ , а "б" и "в" –  $103^\circ$ .

В процессе натурных исследований откосов уступов карьеров "Зарница" и "Юбилейный" не зафиксировано ни одной свершившейся или потенциальной классической деформации (клиновой, плоской, типа консоли и др.), характерной для широко распространенных в природе массивов скальных пород с разноориентированными разрывными нарушениями, которые при определенном соотношении между собой и поверхностью карьера формируют призмы обрушения той или иной конфигурации [2].

Отсутствие таких деформаций на исследованных объектах объясняется особенностями разрывной тектоники вмещающих кимберлитовые трубки породных массивов, выраженными абсолютным преобладанием в осадочном платформенном чехле Далдыно-Алаakitского алмазоносного района систем трещин (разрывных нарушений) субвертикального и субгоризонтального залегания, что практически исключает проявление указанных выше деформаций.

Выявленные деформации уступов карьера "Зарница" представлены участками осыпания горных пород с откосов уступов вследствие криогенного выветривания с активной промывкой надмерзлотными водами мелкоблочных участков породного массива, ослабленных разрывными нарушениями. Задokumentированы единичные незначительные по объему (менее  $350 \text{ м}^3$ ) вывалы горной массы.

Кроме того, на горизонте +340 м в пределах доменов VII, VIII (юго-западный борт карьера), для которых характерны протяженные трещины системы "в" (аз. пад.  $216^\circ \angle 83^\circ$ ),

субвертикальные простирацию откоса уступа и падающие в массив горных пород, установлено, что данное обстоятельство в совокупности со сдвигающими силами горизонтальной направленности (давление льда при замерзании воды, сейсмическое воздействие массовых взрывов) приводит к постепенному разрушению поверхности откоса вследствие опрокидывания породных блоков небольшого объема с образованием плоскостей обратного падения.

В карьере "Юбилейный" наряду с идентичным карьеру "Зарница" широким проявлением в летний период осыпания породного массива в откосах уступов, обусловленного криогенным выветриванием (раскрытием трещин и увлажнением пород), установлено три крупных (объемом более 1000 м<sup>3</sup>) свершившихся и продолжающих развиваться деформаций, а кроме того, целый ряд аналогичных им по генезису мелких, только зарождающихся деформаций. Все они также являются результатом криогенного выветривания, но по своей позиции и особенностям проявления кардинально отличаются от упомянутых выше. Главная их особенность состоит в приуроченности к расположенным на северо-востоке закартированного уступа +475÷530 м интервалам субгоризонтального разрывного нарушения № 5 (рис. 4) с повышенной интенсивностью трещиноватости породного массива и активным просачиванием в связи с этим подземных вод, источник которых пока не установлен.

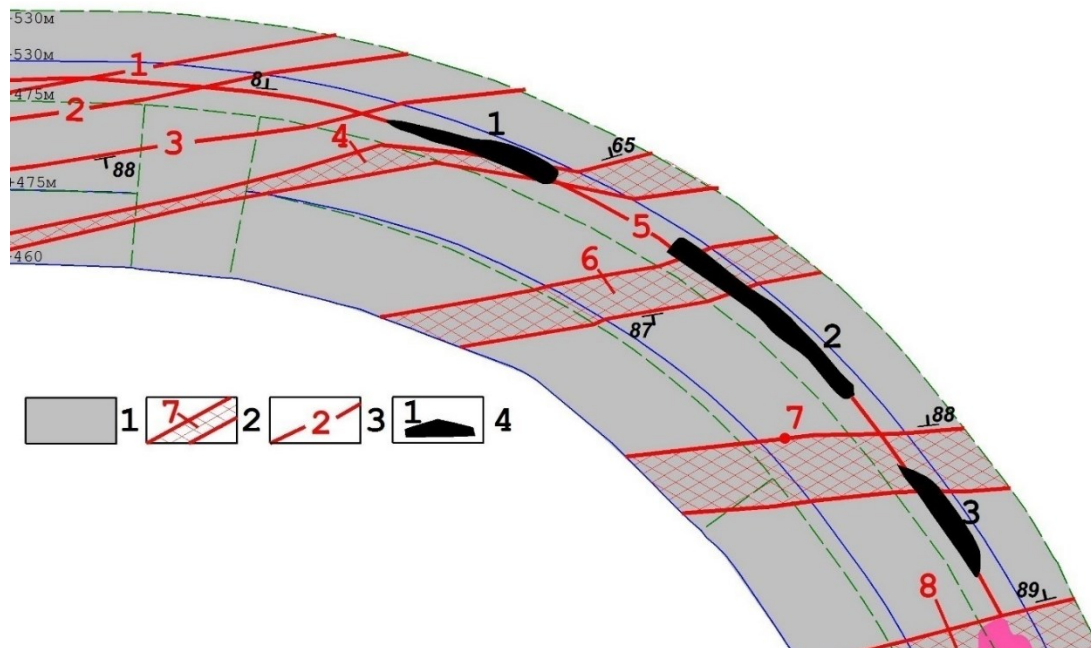


Рис. 4 – Разрывные нарушения и деформации, задокументированные на северо-востоке карьера "Юбилейный" в откосе уступа +530÷+475 м на участках разрывного нарушения № 5 с активным просачиванием подземных вод:  
1 – известняки; 2,3 – разрывное нарушение первой (2) и второй (3) групп и его номер;  
4 – деформация откоса уступа и ее номер

Деформация № 1 объемом 1300м<sup>3</sup> протягивается по следу разрывного нарушения № 5 на 79 м, а ее ширина по вертикали (высоте) прихотливо варьирует от 3,5 м на западном ее фланге до 20 м – на восточном (рис. 5). Максимальное углубление в породный массив откоса уступа 4,5 м.

Деформация № 2 объемом 3000 м<sup>3</sup> расположена на расстоянии 45 м к юго-востоку от деформации № 1. Ее протяженность составляет около 80 м, высота изменяется от 2 до 47 м, а максимальное углубление в массив по приконтактной зоне разрывного нарушения № 5 равно 5 м.

Деформация № 3, расположенная на удалении 27 м от предыдущей, представляет собой контур своеобразного вывала разрушенной породы объемом  $1600 \text{ м}^3$ . Длина его 44 м, ширина по вертикали 10 м, а углубление в породный массив до 7 м.

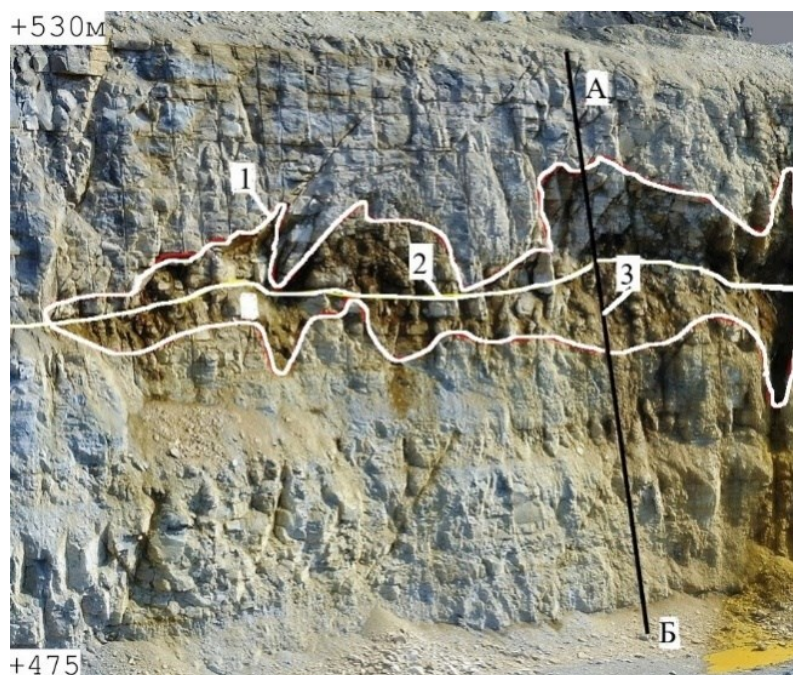


Рис. 5 – Деформация № 1 в откосе уступа +530÷+475 м:  
1 – контур деформации, 2 – след разрывного нарушения № 5;  
3 – линия разреза, показанного на рис. 6 (а)

В ходе натурных исследований установлено, что процесс разрушения горных пород в границах указанных выше деформаций продолжается, проявляясь в постоянном высыпании относительно небольшого количества горной массы. На вертикальных разрезах этих деформаций (рис. 6) видно, что над разрушенной и выположенной частью уступа нависает в виде своеобразного козырька породный блок (по сути, потенциальная призма обрушения) объемом  $1000 - 1300 \text{ м}^3$ .

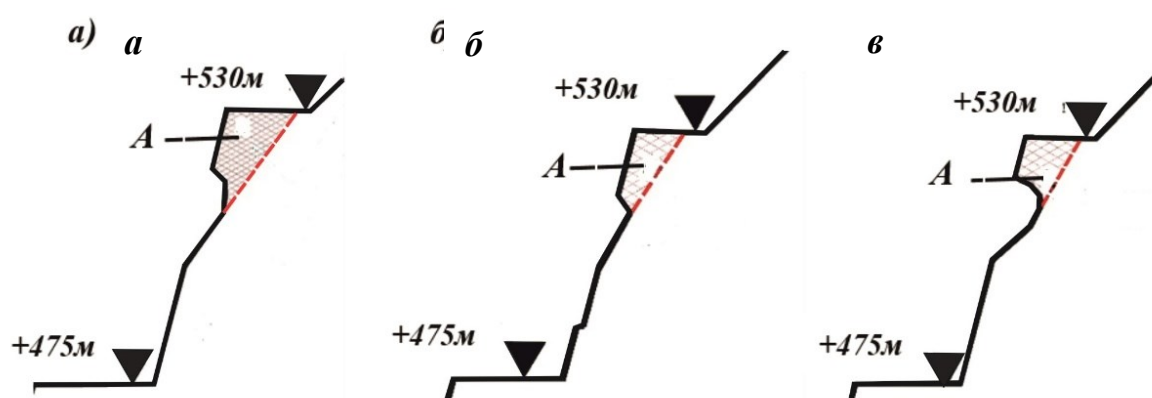


Рис. 6. Вертикальные разрезы уступов +475÷530 м через деформации №№ 1 (а), 2 (б), 3 (в):  
А – потенциальная призма обрушения; штрихом показан предполагаемый профиль верхней части уступа при условии сохранения существующего угла выполаживания откоса

Вполне вероятно обрушение таких блоков. При сохранении в процессе обрушения угла выполаживания откосов уступов ( $53 - 59^\circ$ ) предохранительная берма гор. +530 м на участках деформаций № 1, 2, 3 сократится до 2 – 4 м. Оценить скорость этого процесса

без его мониторинга, а он на момент исследований не проводился, затруднительно. В данной ситуации для обеспечения безопасности горных работ на участках проявления деформаций № 1, 2, 3 целесообразно провести принудительное обрушение козырьков горных пород, нависающих над уступами.

По завершению характеристики особенностей установленных деформаций в откосах уступов карьеров "Зарница" и "Юбилейный" надо отметить следующее. Поскольку наибольшую опасность для устойчивости откосов уступов представляют процессы криогенного выветривания, необходимо в соответствии с [3] определить скорость осыпания и уменьшения прочности пород под влиянием этих процессов. В современных условиях наблюдения за скоростью выветривания пород в откосах уступов (геомониторинг) достаточно эффективно можно выполнять с помощью радарных установок или путем лазерного сканирования поверхности уступов. На наш взгляд, наиболее приемлемым будет мониторинг на базе периодического (например, ежемесячного в весенний и осенний периоды и поквартального в зимний и летний) лазерного сканирования участков проявления деформаций, что даст достоверные (точность лазерной съемки 1 – 2 см) значения геометрии и объема деформаций по каждому периоду, а по результатам сравнения объема деформаций смежных периодов определить скорость разрушения породного массива в откосе уступа.

Сопровождение горных работ геомониторингом даст возможность оперативно и достоверно выделять участки уступов, подверженные наиболее интенсивному выветриванию и как следствие этого выполаживанию уступов до частичной или полной сработки транспортных берм и берм безопасности, что позволит своевременно реализовать комплекс мероприятий по укреплению уступов на этих участках.

#### *Выводы*

1. На примере карьеров "Зарница" и "Юбилейный" показано, что вследствие особенности разрывной тектоники во вмещающих алмазонасыщенные трубки Якутии породных массивах, выраженной абсолютным преобладанием субвертикальных и субгоризонтальных разрывных нарушений, практически исключается проявление классических деформаций откосов уступов (клиновой, плоской и др.), которые формируются нарушениями, разноориентированными по простиранию и падению.

2. Основным фактором деформирования уступов алмазодобывающих карьеров является криогенное выветривание, вызывающее осыпание откосов уступов, интенсивность которого прямо зависит от степени трещиноватости и водонасыщенности вскрытого породного массива.

3. Данные геолого-структурного картирования юго-западного борта карьера "Зарница" показали, что при наличии протяженных трещин, субвертикальных простиранию откоса уступа и падающих в массив горных пород, с учетом сейсмического воздействия массовых взрывов и давления льда при замерзании воды возможно постепенное разрушение поверхности откоса путем опрокидывания элементарных породных блоков.

4. В откосе уступа +530÷485 м карьера "Юбилейный" задокументированы три крупных деформации со сложной геометрией их границ и углублением в породный массив на 4,5 – 7 м по сильно обводненным участкам субгоризонтального нарушения № 5, что привело к образованию нависающих над уступами козырьков горных пород, которые во избежание их непредсказуемого обрушения целесообразно ликвидировать принудительно.

5. Для обеспечения безопасности ведения горных работ и прогнозирования дальнейшего развития установленных свершившихся и потенциальных деформаций уступов карьера необходим геомониторинг их состояния путем периодического лазерного сканирования и оценки по данным сканирования скорости разрастания деформаций.



## Литература

1. Дистанционная оценка ориентировки трещин в откосах уступов карьера с использованием лазерного сканера / С.С. Серый, И.Б. Агарков, А.В. Коновалов, Н.Б. Агарков // Маркшейдерия и недропользование. - 2016. - Вып. 3(83) – С. 54 – 57.
2. Попов В.Н. Управление устойчивостью карьерных откосов / В.Н. Попов, П.С. Шпаков, Ю.Л. Юнаков. - М.: Горная книга, 2008. – 688 с.
3. Методическое пособие по определению углов откосов уступов и углов наклона бортов карьеров, сложенных многолетнемерзлыми породами. – Л.: Печатный цех ВНИМИ, 1972. – 107 с.