

Маркшейдерско-геомеханическое обоснование методики наблюдений за деформациями бортов карьеров

Surveying and geomechanical justification for the methods of quarry sides deformations observation

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2024-7-55-61>

Рассмотрены существующие подходы к наблюдениям за деформациями бортов карьеров и нормативно-техническая основа по данному вопросу. Приведены результаты исследований, направленные на решение важного для повышения безопасности работ на карьерах вопроса об определении пространственного положения потенциально опасной по оползням зоны (ПООЗ) в прибортовом массиве пород. Определены размеры ПООЗ как вдоль борта карьера, так и в перпендикулярном направлении, которые учитывают только геометрические параметры и физико-механические свойства однородного массива горных пород. Показано, что ширина призмы сползания (обрушения) достаточно точно определяется по напряженно-деформируемому состоянию (НДС) прибортового массива и приурочена к зонам, где касательные напряжения минимальны. По результатам многовариантного моделирования упругопластической задачи определены условия, при которых реализуются три сценария протекания оползня.

На основе геомеханических выкладок разработаны схемы маркшейдерских наблюдений, учитывающие приведенные сценарии развития формирования оползня и использующие современные маркшейдерско-геодезические методики.

Ключевые слова: устойчивость бортов карьеров, оползень, оценка напряженно-деформированного состояния, сценарии оползневого процесса, маркшейдерские наблюдения, схема наблюдательной станции.

Для цитирования: Мустафин М.Г., Валькова Е.О. Маркшейдерско-геомеханическое обоснование методики наблюдений за деформациями бортов карьеров // Уголь. 2024;(7):55-61. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-7-55-61.



МУСТАФИН М.Г.

Доктор техн. наук,
профессор, заведующий
кафедрой инженерной геодезии
Санкт-Петербургского
горного университета
императрицы Екатерины II,
199106, г. Санкт-Петербург, Россия,
e-mail: Mustafin_MG@pers.spmi.ru



ВАЛЬКОВА Е.О.

Аспирант кафедры
маркшейдерского дела
Санкт-Петербургского
горного университета
императрицы Екатерины II,
199106, г. Санкт-Петербург, Россия,
e-mail: s215081@stud.spmi.ru

Abstract

The existing approaches to the observation of deformations of the sides of quarries and the regulatory and technical basis on this issue are considered. The results of research aimed at solving the issue of determining the spatial position of a potentially dangerous landslide zone (DLZ) in an instrument array of rocks, which is important for improving the safety of work at quarries, are presented. The dimensions of the DLZ are determined, both along the side of the quarry and in the perpendicular direction, which take into account only the geometric parameters and physico-mechanical properties of a homogeneous rock mass. It is shown that the width of the sliding prism (collapse) is quite accurately determined by the stress-strain state of the instrument array and is confined to zones where tangential stresses are minimal. Based on the results of multivariate modeling of the elastoplastic problem, the conditions under which three scenarios of a landslide are realized are determined. Based on geomechanical calculations, schemes of surveying observations have been developed, taking into account the given scenarios for the development of landslide formation and using modern surveying and geodetic techniques.

Keywords

Quarry sides stability, landslide, evaluation of stress-strain state, the landslide process scenarios, surveying observations, observation station scheme.

For citation

Mustafin M.G., Valkova E.O. Surveying and geomechanical justification for the methods of quarry sides deformations observation. *Ugol'*. 2024;(7):55-61. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2024-7-55-61.

ВВЕДЕНИЕ

Эффективная и безопасная разработка месторождений полезных ископаемых открытым способом напрямую связана с обеспечением устойчивости бортов карьеров. В федеральных нормах и правилах в области промышленной безопасности «Правила обеспечения устойчивости бортов и уступов карьеров, разрезов и откосов отвалов», утвержденным приказом Ростехнадзора № 439 от 13.11.2020, подчеркивается, что организация, эксплуатирующая объект ведения открытых горных работ, помимо прочего должна:

- обеспечивать контроль за соблюдением проектных параметров бортов и уступов карьера;
- проводить визуальные и инструментальные наблюдения за их состоянием;
- выявлять зоны и участки возможного проявления разрывающих деформаций;
- организовывать стационарные инструментальные наблюдения и (или) дистанционный мониторинг.

Направления решений обозначенных вопросов представлены в методических указаниях по оценке рисков развития деформаций, мониторингу и управлению устойчивостью бортов и уступов, карьеров, разрезов и откосов отвалов. В частности, описаны различные методы мониторинга (визуальный, фотограмметрический, маркшейдерский, радарный, гидрогеологический, геотехнический, геофизический).

Для маркшейдерского мониторинга приведены рекомендации и примеры проведения наблюдений с использованием тахеометров (призменный мониторинг) и спутниковых приемников по профильным линиям либо с их использованием в рамках измерений на определенной площади, что согласуется с Правилами от 13.11.2020. Кроме того, отмечена возможность применения наземных лидаров для определения изменений по разновременным съемкам.

В национальном стандарте Российской Федерации «Разработка алмазородных месторождений открытым способом в криолитозоне», ГОСТ р. 58148 – 2018, для решения задачи устойчивости откосов предлагается использование численных методов. В методических указаниях по определению параметров бортов и уступов карьеров, разрезов и откосов отвалов для различных этапов проектирования и отработки карьера рекомендуются к использованию методы аналогий, предельного равновесия, численные и вариационные, а также физического моделирования.

Продвижение исследований в вопросе механизма протекания оползня позволит внести уточнения по размерам возможного оползневого массива как по нормали к борту, так и по простиранию. Другим, не менее важным вопросом следует считать определение характера формирования оползня или сценария разрушения пород, определяющего их деформации и чувствительные зоны борта карьера, которые эффективно использовать для оценки и контроля при маркшейдерских наблюдениях. Отмеченные обстоятельства представляются весьма актуальными в связи с постоянной опасностью аварий, которые при оползнях приносят огромный ущерб производству [1, 2].

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Выделение положения потенциально опасной оползневой зоны (ПООЗ) выполнялось на основе моделирования НДС массива горных пород (МГП), вмещающего карьер. В настоящих исследованиях использован ПК НЕДРА, разработанный еще во ВНИМИ в начале 1990-х годов и совершенствующийся в настоящее время в Санкт-Петербургском горном университете императрицы Екатерины II. ПК НЕДРА представляет собой систему средств моделирования реализации метода конечных элементов применительно для решений геомеханических задач на основе теории упругости и пластичности. Программа позволяет решать как плоские (двумерные), так и объемные задачи.

Цель исследований состояла в определении условий, характеризующихся геометрическими параметрами, которые можно считать оползнеопасными. Без уточнения этого вопроса маркшейдерские наблюдения, в особенности, проводимые по профильным линиям, представляются весьма приблизительными. Говоря проще, профильная линия может не попасть в район ПООЗ и, естественно, наблюдательная станция будет неэффективной, а главное, можно «пропустить» оползень [3].

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи: определить параметры ПООЗ, уточнить стадии оползневого процесса, выделить сценарии оползневого процесса, выполнить типизацию условий проявления оползней, разработать методику мониторинга устойчивости борта карьера.

Определение ПООЗ и места заложения наблюдательной станции или профильной линии связано с решением объемной задачи на основе геомеханической модели карьера [4, 5].

Решение вопроса о распространении ПООЗ в прибортовом массиве выполнено на основе построения объемной модели карьера разных размеров прямоугольной формы в плане в однородном массиве горных пород [6]. Возведение карьера приводит к изменению напряженно-деформированного состояния вмещающих пород. Участки прибортового массива оказываются разгруженными (потерявшими отпор) вследствие выемки и, соответственно, смещаются в рамках упругих свойств пород в выработанное пространство [7, 8]. В угловых местах, там, где контур карьера в плане имеет излом или изгиб, смещения пород в выработанное пространство уменьшаются вследствие нахождения рядом породного упора (угол). Следовательно, смещения на этих участках не могут реализоваться таким же образом, как на прямолинейном участке (так называемый «эффект зажима пород») [9]. Размер этих угловых зон возможно определить расчетами (моделированием). При этом участки прибортового массива за пределами этих зон будут представлять собой ПООЗ. Таким образом, граница ПООЗ определится по условию равенства нулю деформаций, действующих параллельно борту карьера.

В расчетных моделях варьировались: угол откоса борта от 30° до 90° , глубина карьера от 40 м до 640 м и длина карьера до 2560 м. Ширина подошвы карьера отвечала среднему значению рабочей площадки – 80 м. Влияние выпуклых или вогнутых участков борта карьера в плане также было рассмотрено на основе трехмерного моделирования [10, 11, 12]. В качестве дополнительных факторов, приводящих к неустойчивости, задавались упругость и прочность пород. Рассмотрение данных вопросов потребовало провести многовариантное моделирование (около 200 вариантов). Моделирование сценариев формирования оползней и размеры ПООЗ в плане (нормально линии борта карьера, ширина призмы сползания) определялись на основе решения плоской задачи теории упругости и пластичности. В качестве критерия разрушения пород использована теория Кулона – Мора, хорошо зарекомендовавшая себя при решении задач горной геомеханики.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Карьер в плане может иметь разнообразные формы. Вместе с тем для представления о распределении НДС и отличия одних участков от других, что важно при решении вопроса о месте заложения наблюдательной станции, достаточно рассмотреть простые формы, которые позволят составить представление о том, как будут деформироваться более сложные формы. В этой связи принята модель карьера в виде прямоугольника в плане. При моделировании варьировались: длина подошвы карьера, глубина карьера и угол откоса борта карьера. Таким образом, по мере увеличения глубины верхняя бровка карьера и, соответственно, размер карьера изменяли свои положения в зависимости от угла откоса борта. Принят однородный МГП, его физико-механические свойства ва-

рьировались [13]. В связи с тем, что рассматривалась объемная упругая задача, основным изменяемым параметром являлся модуль упругости пород. При моделировании учтен широкий спектр горных пород, которыми сложены массивы, вмещающие карьеры. Также мы опирались на классификации горных пород по прочности и ее связи с упругостью. В результате приняты следующие величины модуля упругости МГП: 5, 20 и 50 ГПа, охватывающие практически весь спектр усредненных значений пород на месторождениях, разрабатываемых открытым способом. Сцепление пород в зависимости от модуля упругости пород изменялось в пределах 0,1 – 0,01 МПа, при которых моделировался процесс разрушения пород. Частичные результаты моделирования сведены в *таблицу*.

Деформации, имеющие знак «минус» (–) отвечают сжатию, знак «плюс» (+) – растяжению, числовые значения отвечают расстоянию от торцевой стороны карьера (по нижней бровке карьера), на протяжении которого распространяются деформации сжатия (эффект зажима пород). На прибортовых участках карьера (длинная сторона), где деформации имеют нулевые или плюсовые значения, возникают условия для оползня, естественно, при превышении сдвигающих сил над удерживающими по плоскости скольжения. Следовательно, эту часть борта карьера можно отнести к ПООЗ.

Далее приведем результаты моделирования процесса деформирования прибортового массива карьера с целью определения ПООЗ в направлении, перпендикулярном простиранию карьера, и изучения механизма оползня. Моделировался карьер высотой 96 м и углами откоса от 30° до 90° . Удельный вес пород принят равным 2 т/м^3 (или 0,02 МПа), коэффициент Пуассона – 0,3, а угол внутреннего трения (φ) – 30° , что отвечает средним значениям осадочных пород; значение модуля упругости – 5 ГПа. При этом, соответственно, подбирались сцепление МГП, при котором происходил процесс разрушения в рамках упругопластического решения. Моделированием определен диапазон сцеплений пород (C), который составил величины от 0,02 до 0,03 МПа. Ниже показаны выборочные результаты, отражающие основу выводов о процессе формирования оползня.

При углах откоса 78° (рис. 1, А) формирование оползня начинается с образования заколов на земной поверхности вблизи борта карьера вследствие возникновения критических растягивающих сил. Появление и углубление заколов увеличивают опрокидывающий момент потенциальной призмы обрушения, что приводит к разрушению или росту зоны разрушений на нижней бровке борта карьера, что в свою очередь ведет к развороту призмы, ее большему отделению от массива (рост закола) и увеличению давления на нижнюю часть борта карьера, а, в конце концов, к ее разрушению и сползанию призмы. По нашей классификации, описанный процесс относится к сценарию «сверху – вниз», т.е. зарождается в верхней прибортовой области и распространяется вниз.

При углах откоса 30° (рис. 1, Б) наблюдается отсутствие заколов. Разрушения начались у нижней бровки борта карьера. При этом по мере все больших разрушений формируются блоки (на рис. 1 четко видны линии разрушений

Результаты многовариативного моделирования

Multivariate modeling results

Глубина карьера, м	Длина карьера, м						
	40	80	160	320	640	1280	2560
Угол откоса борта 30°							
40	– (сжатие)	–	–	–	–	250	250
80	–	–	–	–	200	210	210
160	+ (растяжение)	+	+	+	+	+	90
320	+	+	+	+	+	+	+
640	+	+	+	+	+	+	+
Угол откоса борта 45°							
40	–	–	–	–	–	320	320
80	–	–	–	–	–	320	320
160	+	+	+	+	–	200	250
320	+	+	+	+	+	+	60
640	+	+	+	+	+	+	+
Угол откоса борта 67°							
40	–	–	–	–	–	330	340
80	–	–	–	–	–	340	340
160	+	+	+	+	–	230	300
320	+	+	+	+	–	+	+
640	+	+	+	+	+	+	+
Угол откоса борта 90°							
40	–	–	–	–	–	360	360
80	–	–	–	–	–	360	360
160	+	+	+	–	–	360	360
320	+	+	+	+	–	380	440
640	+	+	+	+	+	+	+

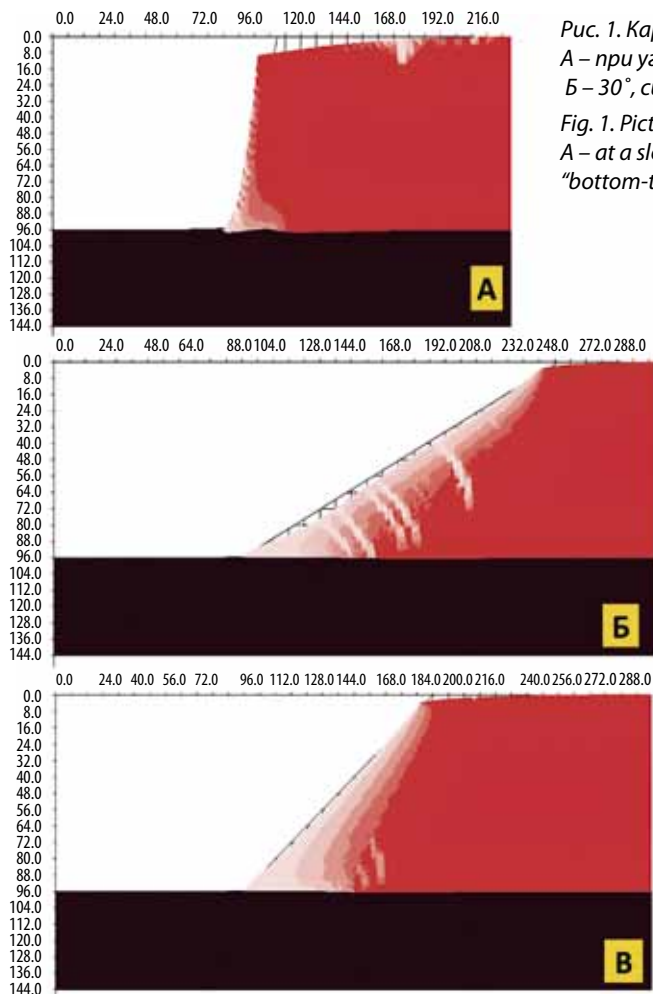


Рис. 1. Картина деформирования откоса борта карьера:

А – при углах откоса 78°, сценарий «сверху – вниз»;

Б – 30°, сценарий «снизу-вверх»; В – 45°, комбинированный сценарий

Fig. 1. Picture of the deformation of the slope of the quarry side:

A – at a slope angle of 78°, “top-bottom” scenario; Б – at a slope angle of 30°,

“bottom-top” scenario; В – at a slope angle of 45°, a combined scenario

нормально откосу). Разрушение и смещения блоков в сторону выработанного пространства приводят к сползанию всего борта (оползну). Этот сценарий оползня можно назвать протекающим снизу – вверх.

При углах откоса 45° (рис. 1, В) прогиб в приконтурной области привел к образованию на земной поверхности небольшого закола. Вместе с тем зона разрушения пород охватывает значительную область от верхней до нижней бровки карьера. При этом внизу она существенно шире. Этот сценарий можно считать комбинированным, в нем реализуются процессы сценариев как «сверху – вниз», так и «снизу – вверх».

По результатам проведенного моделирования осуществлена типизация бортов карьера на предмет возможного механизма протекания оползня. Для интервалов углов откоса карьера 67° и более протекание оползня прогнозируется по механизму «сверху – вниз». Это означает, что наблюдения за деформациями борта карьера можно выполнять путем заложения наблюдательных станций на земной поверхности. При интервале углов менее 67° и более 37° прогнозный механизм оползня «комбинирован-

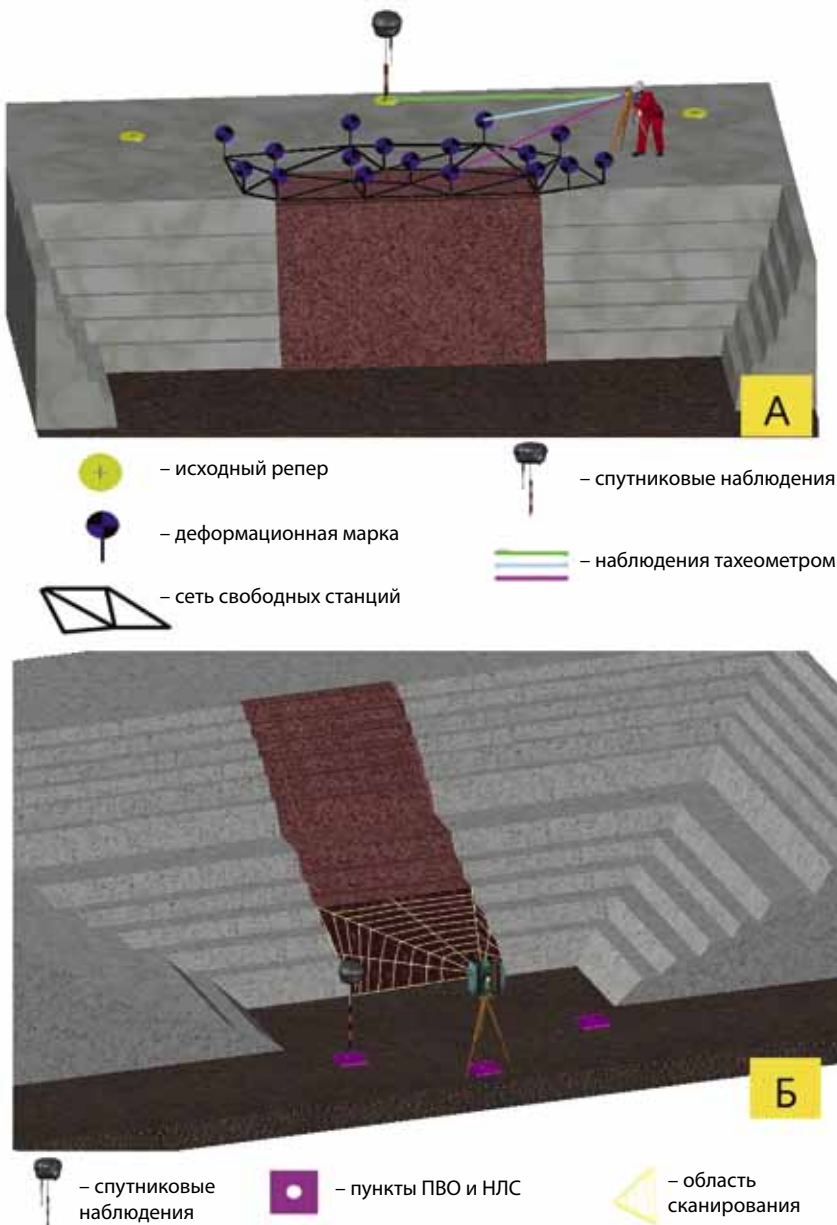


Рис. 2. Принципиальная схема организации наблюдений при определении сценария оползня:

А – «сверху – вниз»;
 Б – «комбинированный»

Fig. 2. Principal scheme of the observation organisation when determining the landslide scenario:

А – «top-bottom»;
 Б – «combined»

ный». Наблюдения следует организовать для всего борта, как за откосом, так и за земной поверхностью. При углах откоса 37° и менее прогнозный механизм «снизу – вверх». Наблюдения можно проводить преимущественно за деформированием нижнего откоса уступа (откосов уступов) борта карьера.

Определенные параметры ПООЗ и сценарии механизмов оползней создают обоснованные предпосылки к разработке схем наблюдательных станций за деформациями бортов карьеров и методики наблюдений.

Схема маркшейдерских наблюдений при сценарии развития оползня «сверху – вниз» включает создание свободной деформационной сети, располагающейся на земной поверхности с охватом ПООЗ (рис. 2, А). Данная методика реализована в компьютерной программе «Деформация» [14].

С целью контроля и для случая отсутствия недеформированных элементов используются пункты, на которых

выполняются статические спутниковые определения. Тахеометрические измерения следует выполнять с обеспечением нормативной точности 15 мм. Как было уже замечено, нахождение людей в ПООЗ исключается. В этой связи наблюдения выполняются бесконтактно [15].

При прогнозировании комбинированного механизма оползня маркшейдерские наблюдения следует дополнить отслеживанием деформаций, возникающих на нижних уступах борта карьера. Предлагается осуществлять их наземное лазерное сканирование (НЛС). Для этого на подошве карьера планируется закладывать не менее трех пунктов плано-высотного обоснования (ПВО) НЛС с расчетом последующего охвата ПООЗ, а именно нижних уступов склоновой части борта (рис. 2, Б).

В зависимости от интенсивности горных работ [16] устройство пунктов может выполняться на постоянной или временной основе. Их координаты определяются путем спутниковых наблюдений в режиме «Статика» или

с использованием электронных тахеометров [17, 18]. От пунктов ПВО на каждом цикле наблюдений выполняется НЛС склоновой части карьера. В пределах ПООЗ она делится на ячейки (домены). В ходе обработки облаков точек лазерных отражений (ТЛО) выполняется распределение точек по доменам с определением их усредненных положений в пространстве. Таким образом, каждый домен приобретает свои инвариантные параметры и расстояния до исходных точек [19, 20]. Эти параметры сравниваются на каждом цикле наблюдений, определяется разность или степень деформирования откоса. При использовании такого подхода возникает вопрос о контроле или учете изменений у нижней бровки уступа. Вопрос снимается при оценке только обнажений уступа, т.е. частей склона выше образования осыпей.

При прогнозировании сценария оползня «снизу – вверх» маркшейдерские наблюдения достаточно проводить по описанной методике лазерного сканирования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведены методика маркшейдерских наблюдений за деформациями бортов карьеров и ее геомеханическое обоснование. Рассмотрено понятие «ПООЗ». Для однородного массива горных пород приведены ее ориентировочные размеры в плане для обоснования закладки наблюдательных станций. При этом разработан подход и приведены сравнения с существующей методикой определения ширины ПООЗ или ширины призмы сползания (обрушения). Большое внимание уделено важному вопросу о механизме и сценариях оползня. Первый сценарий «сверху – вниз» относится к крутым откосам и заключается в том, что оползень формируется от заколов на земной поверхности, и далее процесс сползания призмы происходит в результате прорастания закола(лов) и разрушения зоны у нижней бровки карьера. По результатам моделирования выявлено, что при пологих откосах реализуется сценарий «снизу – вверх». Потеря устойчивости борта карьера начинается с разрушений на нижней его бровке и далее распространяется вверх. При промежуточных углах откосов реализуются оползни по комбинированному сценарию, то есть с элементами обоих описанных сценариев.

Для всех сценариев оползня разработаны схемы мониторинга устойчивости борта карьера, ориентированные на использование современных измерительных средств (электронных тахеометров, спутниковых приемников, лазерных сканеров).

Список литературы • References

1. Геомеханический мониторинг устойчивости бортов разрезов и отвалов при разработке угольных месторождений / Ю.И. Кутепов, Н.А. Кутепова, М.Р. Пономаренко и др. // Горный журнал. 2023. № 5 С. 69-74. <https://doi.org/10.17580/gzh.2023.05.10>. Kutevov Yu.I., Kutevova N.A., Ponomarenko M.R., Kutevov Yu.Yu. Geomechanical monitoring of slope stability in pitwall and dumps in coal mining. *Gornyy zhurnal*. 2023;(5):69-74. (In Russ.). <https://doi.org/10.17580/gzh.2023.05.10>.
2. Андреева О.Н., Кольцов П.В., Пыхтеева Н.Ф. Анализ устойчивости откосов карьера Западно-озерный для обеспечения безопасности ведения горных работ // Проблемы недропользования. 2023. № 1(36). С. 32-40. <https://doi.org/10.25635/2313-1586.2023.01.032>. Andreeva O.N., Koltsov P.V., Pykhteeva N.F. Analysis of stability of slopes of the Zapadno-ozerny pit to ensure mining safety. *Problemy nedropolzovaniya*. 2023;1(36):32-40. (In Russ.). <https://doi.org/10.25635/2313-1586.2023.01.032>.
3. Белова М.В., Попов А.Л. Совершенствование методики маркшейдерских наблюдений за устойчивостью бортов карьеров // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2019. № 75. С. 247-254. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2019-4-7-247-254>. Belova M.V., Popov A.L. Improving methods of surveying observations of the slope stability. *MIAB. Mining information and analytical Bulletin*. 2019;(75):247-254. (In Russ.). <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2019-4-7-247-254>.
4. Жабко А.В. Теоретические и экспериментальные аспекты пластического деформирования и разрушения горных пород // Известия УГУ. 2018. № 1(49). С. 68-79. <https://doi.org/10.21440/2307-2091-2018-1-68-79>. Zhabko A.V. Theoretical and experimental aspects of plastic deformation and destruction of rocks. *Izvestiya UGGU*. 2018;1(49):68-79. (In Russ.). <https://doi.org/10.21440/2307-2091-2018-1-68-79>.
5. Протосеня А.Г., Беляков Н.А., Буслова М.А. Моделирование напряженно-деформированного состояния блочного горного массива рудных месторождений при отработке системами разработки с обрушением // Записки Горного института. 2023. Т. 262. С. 619-627. Protosenya A.G., Belyakov N.A., Bouslova M.A. Modelling of the stress-strain state of block rock mass of ore deposits during development by caving mining systems. *Zapiski Gornogo instituta*. 2023;(262):619-627. (In Russ.).
6. Панченко А.В. Моделирование деформаций борта карьера с разными свойствами горных пород и геометрией в плане // Наука и Мир. 2014. № 1(4). С. 160-162. Panchenko A.V. Modeling of deformations of the side of a quarry with different properties of rocks and geometry in plan. *Nauka i Mir*. 2014;(14):160-162. (In Russ.).
7. Господариков А.П., Ревин И.Е., Морозов К.В. Композитная модель анализа данных сейсмического мониторинга при ведении горных работ на примере Кукисвумчоррского месторождения АО «Апатит» // Записки Горного института. 2023. Т. 262. С. 571-580. <https://doi.org/10.31897/PMI.2023.9>. Gospodarikov A.P., Revin I.E., Morozov K.V. Composite model of seismic monitoring data analysis during mining operations on the example of the Kukisvumchorskoye deposit of AO Apatit. *Zapiski Gornogo instituta*. 2023;(262): 571-580. (In Russ.). <https://doi.org/10.31897/PMI.2023.9>.
8. Проблема оценки влияния горных работ на объекты наземной инфраструктуры / Е.М. Волохов, В.К. Кожухарова, И.А. Бритвин и др. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2023. № 8. С. 72-93. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2023-8-0-72>. Volohov E.M., Kozhukharova V.K., Britvin I.A., Savkov B.M., Zherlygina E.S. Assessment of impact of mining operations on surface infrastructure. *MIAB. Mining information and analytical Bulletin*. 2023;(8):72-93. (In Russ.). <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2023-8-0-72>.
9. Кузин А.А., Филиппов В.Г. Разработка алгоритма выбора метода и геодезического оборудования в зависимости от скорости

- оползневых смещений на примере Миатлинской ГЭС // Вестник СГУГиТ. 2023. № 4(28). С. 22-37. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2023-28-4-22-37>.
- Kuzin A.A., Filippov V.G. Development of an algorithm for choosing a method and geodetic equipment depending on the velocity of landslide displacements, by the example of the Miatlinskaya HPS. *Vestnik SUGiТ*. 2023;(28)4:22-37. (In Russ.). <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2023-28-4-22-37>.
10. Повышение достоверности 3D-моделирования оползневого склона на основе учета данных инженерной геофизики / В.В. Глазунов, С.Б. Бурлуцкий, Р.А. Шувалова и др. // Записки Горного института. 2022. Т. 257. С. 771-782. <https://doi.org/10.31897/PMI.2022.86>.
Glazunov V.V.; Burlutskiy S.B.; Shuvalova R.A.; Zhdanov S.V. Improving the reliability of 3D modelling of a landslide slope based on engineering geophysics data. *Zapiski Gornogo instituta*. 2022;(257): 771-782. (In Russ.). <https://doi.org/10.31897/PMI.2022.86>.
 11. Устойчивости бортов карьера с учетом временного фактора / Ш.П. Уринов, С.А. Мансурова, Н.А. Боймуродов и др. // Цифровые технологии в промышленности. 2023. № 1(1). С. 54-62. <https://doi.org/10.5281/zenodo.8360842>.
Urinov Sh., Mansurova S., Boymurodov N., Axmedov K., Mirzaxmedov M., Yarashov Sh. Stability of quarry sides taking into account the time factor. *Tsifrovye tekhnologii v promyshlennosti*. 2023;1(1):54-62. (In Russ.). <https://doi.org/10.5281/zenodo.8360842>.
 12. Pospheov G.B., Savón Y., Delgado R., Castellanos E.A., Peña A. Inventory of Landslides Triggered by Hurricane Matthews in Guantánamo, Cuba. *Geography, Environment, Sustainability*. 2023;1(16):55-63. <https://doi.org/10.24057/2071-9388-2022-133>.
 13. Оптимизация удельных энергозатрат на дробление горных пород взрывом на месторождениях со сложным геологическим строением / Ю.И. Виноградов, С.В. Хохлов, Р.Р. Зигангиров и др. // Записки Горного института. 2024. С. 1-15.
Vinogradov Yu.I., Khokhlov S.V., Zigangirov R.R., Miftakhov A.A., Suvorov Yu.I. Optimization of specific energy consumption for rock crushing by explosion at deposits with complex geological structure. *Zapiski Gornogo instituta*. 2024:1-15. (In Russ.).
 14. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023666272 Российская Федерация. Деформация: № 2023664597: заявл. 12.07.2023: опубл. 27.07.2023 / М.Г. Мустафин, Е.О. Валькова; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет».
 15. Выстрчил М.Г., Гусев В.Н., Сухов А.К. Методика определения погрешностей сегментированных grid моделей открытых горных выработок, построенных по результатам аэрофотосъемки с беспилотного воздушного судна // Записки Горного института. 2023. Т. 262. С. 562-569.
Vystrchil M.G., Gusev V.N., Sukhov A.K. A method of determining the errors of segmented GRID models of open-pit mines constructed with the results of unmanned aerial photogrammetric survey. *Zapiski Gornogo instituta*. 2023;(262):562-570. (In Russ.).
 16. Обоснование рациональных режимов работы карьерных автосамосвалов при сверхнормативной эксплуатации / Г.Ю. Вишняков, А.Е. Пушкарев, Е.Ю. Ботян и др. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2023. № 11(1). С. 24–37. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2023-111-0-24>.
Vishnyakov G.Yu., Pushkarev A.E., Botyan E.Yu., Khloponina V.S. Justification of rational modes of operation of quarry dump trucks in case of over-normative operation. *MIAB. Mining information and analytical Bulletin*. 2023;11(1):24-37. (In Russ.). <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2023-111-0-24>.
 17. Valkov V.A., Kuzin A.A., Kazantsev A.I. Calibration of digital non-metric cameras for measuring works. *Journal of Physics: Conference Series*. 2018;1118(1):012044. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1118/1/012044>.
 18. Kazantsev A.I., Boikov A.V., Valkov V.A. Monitoring the deformation of the earth's surface in the zone of influence construction. *E3S Web of Conferences*. 2020;(157):02013. <https://doi.org/10.1051/e3s-conf/202015702013>.
 19. Разработка концепции интерактивного атласа «История развития кафедры инженерной геодезии» / Н.С. Копылова, К.В. Григорьев, С.М. Слободкин и др. // Геодезия и картография. 2023. № 5. С. 9-17. <https://doi.org/10.22389/0016-7126-2023-995-5-9-17>.
Kopylova N.S., Grigoriev K.V., Slobodkin S.M., Romanchikov A.Yu., Pavlov N.S. Work on the concept of an interactive atlas «The history of the development of the Department of Engineering Geodesy». *Geodeziya i Kartografiya*. 2023;84(5):9-17. (In Russ.). <https://doi.org/10.22389/0016-7126-2023-995-5-9-17>.
 20. Bykowa E., Raguzin I. Substantiation of Estimation Methods of Technogenic Noise Impact in Cadastral Value Determination of Land Plots. *Land*. 2024;13(2):246. <https://doi.org/10.3390/land13020246>.

Authors Information

Mustafin M.G. – Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Department of Engineering Geodesy, Saint Petersburg Mining University, Saint-Petersburg, 199106, Russian Federation, e-mail: Mustafin_MG@pers.spmi.ru

Valkova E.O. – Graduate Student, Department of Mining Surveying, Saint Petersburg Mining University, Saint-Petersburg, 199106, Russian Federation, e-mail: s215081@stud.spmi.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию: 21.04.2024

Поступила после рецензирования: 16.06.2024

Принята к публикации: 25.06.2024

Paper info

Received April 21, 2024

Reviewed June 16, 2024

Accepted June 25, 2024