



Научная статья

УДК 622.882

<https://doi.org/10.21285/2686-9993-2021-44-3-323-332>



## Процесс формирования осыпей на нерабочих бортах карьеров и его влияние на восстановление растительности

Константин Павлович Галайда<sup>a</sup>, Борис Леонидович Тальгамер<sup>b</sup>

<sup>a,b</sup>Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

Автор, ответственный за переписку: Галайда Константин Павлович, galanna82@yandex.ru

**Резюме.** Целью проведенных исследований являлось изучение закономерностей формирования осыпей и оценка их влияния на самозарастания нарушенных земель после отработки месторождений строительного камня. Авторами были изучены процессы природного образования осыпей, определена их слоистость и гравитационная сортировка, установлены факторы, обуславливающие процесс обрушения уступов. При помощи моделирования процесса осыпеобразования установлена зависимость дальности разлета породы от высоты уступов, углов их откоса, а также от массы отдельных кусков. Установлены углы откоса уступа с наибольшим и с наименьшим разлетом породы. Моделирование показало влияние углов откоса уступа и параметров осыпи, образовавшейся у подножия уступов, на дальность разлета обломков. Выделены три ярко выраженные стадии формирования осыпей у подножия уступов, определены углы, при которых происходит переход от одной стадии осыпеобразования к другой. Даны рекомендации по улучшению условий самозарастания и минимизации негативного фактора осыпеобразования. Для формирования слоя рыхлых отложений на горизонтальных площадках уступов предлагается использовать не привезенную техногенную смесь или потенциально плодородные грунты, а породы из осыпи, что резко сокращает затраты на рекультивацию. С целью повышения интенсивности самозарастания бортов карьеров рекомендуется увеличивать высоту уступов и ширину берм без изменения проектного угла откоса борта карьера. Для снижения негативного влияния осыпеобразования на процесс восстановления растительности на бортах у подножия уступов предлагается формировать траншею для сбора осыпающихся пород или камнезащитный вал.

**Ключевые слова:** открытые горные работы, карьеры, нарушенные земли, осыпеобразование, рекультивация, самозарастание

**Для цитирования:** Галайда К. П., Тальгамер Б. Л. Процесс формирования осыпей на нерабочих бортах карьеров и его влияние на восстановление растительности // Науки о Земле и недропользование. 2021. Т. 44. № 3. С. 323–332. <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2021-44-3-323-332>.

Original article

## Scree formation on nonmining flank of an opencast and its impact on vegetation restoration

Konstantin P. Galaida<sup>a</sup>, Boris L. Talgamer<sup>b</sup>

<sup>a,b</sup>Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Corresponding author: Konstantin P. Galaida, galanna82@yandex.ru

**Abstract.** The purpose of the conducted research is to study the regularities of scree formation and assess their impact on self-vegetation of disturbed lands after mining of building stone deposits. The processes of natural formation of scree have been studied, their layering and gravitational alignment have been determined, the factors causing pit bench collapse have been identified. Simulation of the scree formation process allowed to establish the dependence of rock spreading distance on bench height, bench slope angles, as well as on the weight of individual pieces. The slope bench angles with the largest and smallest rock spread distance were found. The simulation showed the influence of the slope bench angles and parameters of the scree formed at the foot of pit benches on the range of debris spread. Three distinct formation stages of scree at the foot of the benches are identified. The angles of transition from one stage of scree formation to another are determined. Recommendations are given to improve the conditions of self-vegetation and minimize the negative factor of scree formation. To form a layer of loose sediments on horizontal bench sites it is proposed to use rocks from scree, which can dramatically reduce the cost of reclamation rather than imported man-made mixture or potentially fertile soils. In order to increase self-vegetation intensity on the flanks of opencasts, it is recommended to increase the bench height and berm width without changing the design angle of the opencast flank slope. To reduce the adverse impact of scree formation on vegetation restoration on the sides at the bench foot, it is proposed to form a trench collecting falling rocks or a rock-protecting wall.

© Галайда К. П., Тальгамер Б. Л., 2021



**Keywords:** open-pit mining, open pit, disturbed lands, scree formation, reclamation, self-vegetation

**For citation:** Galaida K. P., Talgamer B. L. Scree formation on nonmining flank of an opencast and its impact on vegetation restoration. *Nauki o Zemle i nedropol'zovanie = Earth sciences and subsoil use*. 2021;44(3):323-332. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2021-44-3-323-332>.

### Введение

Осыпи являются характерным элементом природного горного ландшафта, встречаются повсеместно и существенно влияют на растительный покров в местах их формирования. Под осыпями понимают скопления обломков, скатывающихся по склону под действием силы тяжести и отлагающихся у его подножия. Важнейшими условиями для образования осыпей являются крутой уклон земной поверхности, обилие скальных выходов коренных пород, сухой или морозный климат с интенсивным накоплением продуктов физического выветривания<sup>1-3</sup>. Осыпи очень характерны для высокогорной зоны, то есть той, где продукты выветривания не закрепляются растительностью.

Образование осыпей продолжается до тех пор, пока их уклон не станет меньше угла естественного откоса. «Живые» осыпи характерны для склонов круче 65°, относительно подвижные – для склонов с крутизной 45–65°.

Коллювий оползания имеет признаки гравитационной сортировки материала по размеру: вверху осыпи остается более мелкий, щебневый материал, а к низу, к подножию, нарастает количество и размер крупных глыб,

поскольку они обладают большей массой (и, соответственно, кинетической энергией) и в процессе движения скатываются дальше мелких кусков породы.

По крупности обломочного материала осыпи в самом общем виде подразделяются на глыбовые, щебеночные и дресвяные. Глыбовые осыпи формируются за счет разрушения массивных пород (интрузивных пород, лав, кристаллических сланцев, массивных известняков, песчаников) и приурочены преимущественно к высокогорным районам. Менее прочные, в основном осадочные породы образуют среднеобломочные (щебнистые) и мелкообломочные (дресвяные) осыпи<sup>1-3</sup>.

Множественность актов осыпания создает и некоторую слоистость во всем теле осыпи – грубую наклонную гравитационную слоистость, близкую к углам естественного откоса<sup>3</sup> [1, 2].

Данный процесс формирования подтверждается натурными наблюдениями и моделированием (рис. 1).

Несмотря на то что процесс образования осыпей встречается повсеместно и многие авторы уделяют большое внимание склоновым процессам, в том числе устойчивости бортов



**Рис. 1. Осыпь на карьере «Буровщина»**  
**Fig. 1. Scree at the Burovshchyna opencast**

<sup>1</sup> Белюченко И. С. Экология Краснодарского края: учеб. пособие. Краснодар: Изд-во КубГау, 2010. 356 с.

<sup>2</sup> Ежова А. В. Литология: учебник. Томск: Изд-во ТПУ, 2009. 336 с.

<sup>3</sup> Попов Ю.В., Пустовит О.Е. Общая геология: учеб. пособие. Москва – Берлин: Директ-Медиа, 2016. 48 с.



и уступов карьеров на рабочих участках<sup>4</sup> [3, 4], противокаменпадной защите от обвально осыпных явлений [5–10], деформации откосов с учетом ухудшения геологических и горнотехнических условий разработки месторождений с качественно новыми подходами к обеспечению устойчивости бортов карьеров [11, 12], а также возможности продуктивного использования осыпавшегося материала с целью создания благоприятных условий для самозарастания [13–15], сам процесс формирования осыпей на карьерах по добыче строительного камня недостаточно изучен.

Важным фактором, влияющим на процесс самозарастания берм уступов в карьерах, является осыпаясь длительное время с вышележащих горизонтов породы. Осыпи повреждают пионерную растительность, появившуюся на бермах, и, разрастаясь, препятствуют самовосстановлению растительного покрова.

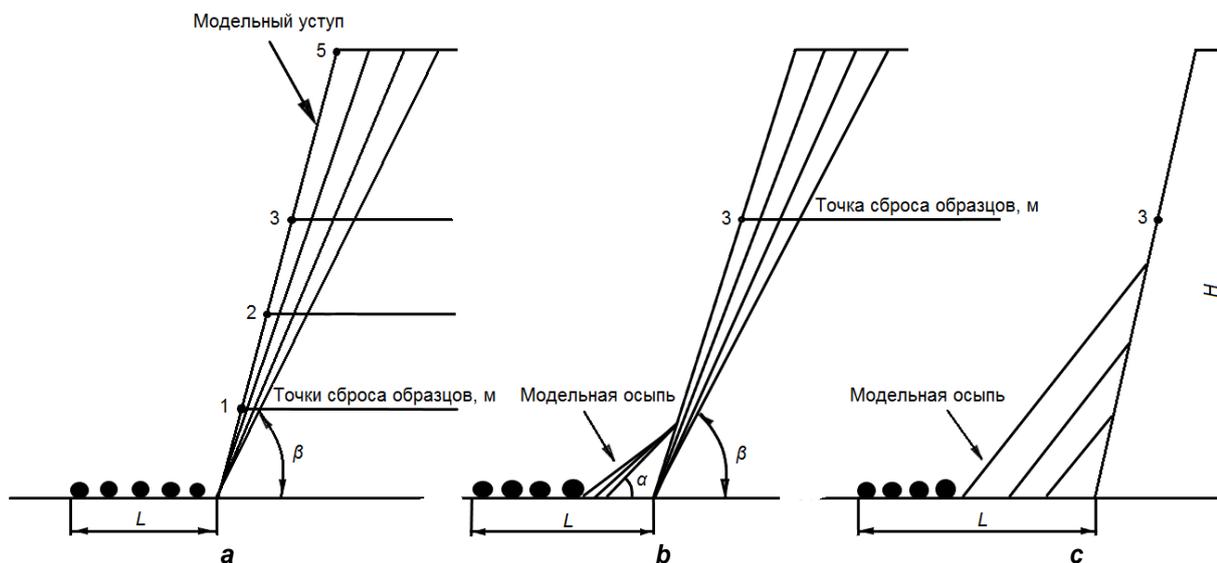
### Материалы и методы исследований

С целью исследования процесса формирования осыпей на бермах карьеров и поиска путей уменьшения его негативного влияния на самозарастание берм было проведено физическое моделирование этого процесса.

Для моделирования процесса осыпеобразования использовали материал, привезенный с карьеров, в виде камней средней фракции, из которых было отобрано 30 образцов размером 5–10 см и массой от 0,2 до 2,9 кг. Модельный уступ был собран из досок 40×150 мм длиной 6 м в форме желоба шириной 300 мм с высотой стенок 150 мм. Образцы сбрасывались по желобу на бетонное основание, близкое по своим характеристикам к скальному. В процессе исследования изменялись высота (от 1 до 5 м), а также углы наклона откосов уступов (рис. 2). Поверхность осыпи моделировали с помощью многослойной фанеры, изменяя ее положение относительно поверхности бермы и замеряя углы. В зависимости от указанных выше параметров устанавливалась дальность разлета кусков породы относительно подножия уступа и принималось средневзвешенное значение.

### Результаты исследований и их обсуждение

Всего было проведено более 3120 замеров со сбросом с разной высоты около 2,5 т камней при использовании различных модельных параметров уступов. Результаты исследований приведены на рис. 3.



**Рис. 2. Исследуемые параметры процесса осыпеобразования в зависимости:**

*a* – от угла откоса уступа; *b* – от углов откоса уступа и осыпи; *c* – от высоты осыпи

*L* – дальность разлета камней, м; *H* – высота уступа, м;  $\alpha$  – угол откоса осыпи, град.;  $\beta$  – угол откоса уступа, град.

**Fig. 2. Studied parameters of scree formation depending on:**

*a* – bench slope angle; *b* – bench and scree slope angles; *c* – scree height;

*L* – rock spread distance, m; *H* – bench height, m;  $\alpha$  – scree slope angle, degree;  $\beta$  – bench slope angle, degree

<sup>4</sup> Ананьев В. П., Потапов А. Д. Инженерная геология: учебник для вузов. М.: Высшая школа, 2005. 575 с.

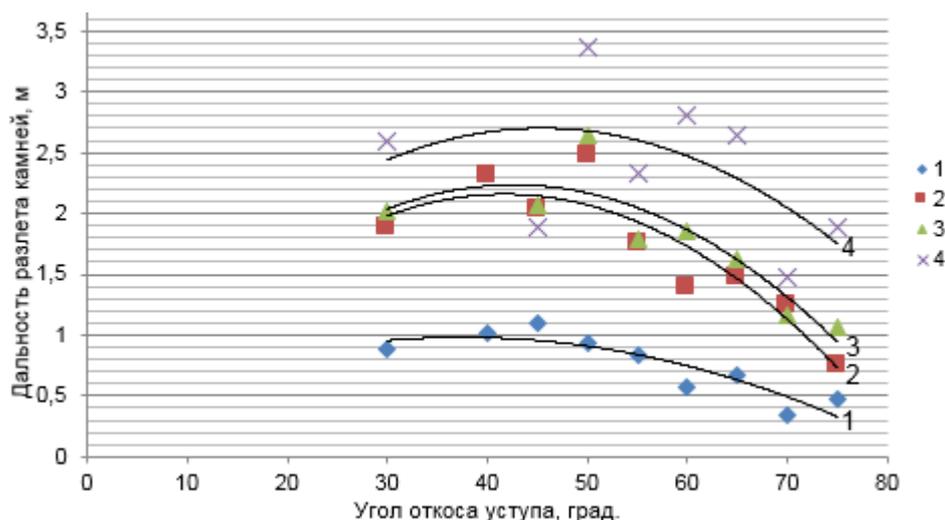


Рис. 3. Зависимость дальности разлета камней от угла откоса уступа при различной высоте уступа: 1 – 1 м; 2 – 2 м; 3 – 3 м; 4 – 5 м

Fig. 3. Dependence of rock spread distance on bench slope angle at different bench height: 1 – 1 m; 2 – 2 m; 3 – 3 m; 4 – 5 m

Зависимость дальности разлета камней от угла откоса уступа показывает, что по мере уменьшения углов откоса уступа с 70–75° дальность разлета камней постепенно увеличивается, достигая максимальных значений

при углах 40–50°, а в дальнейшем несколько уменьшается. С увеличением высоты уступа разлет камней увеличивается независимо от углов откоса. Однако больший разлет отмечается при углах, близких к 50° (рис. 4) [16].

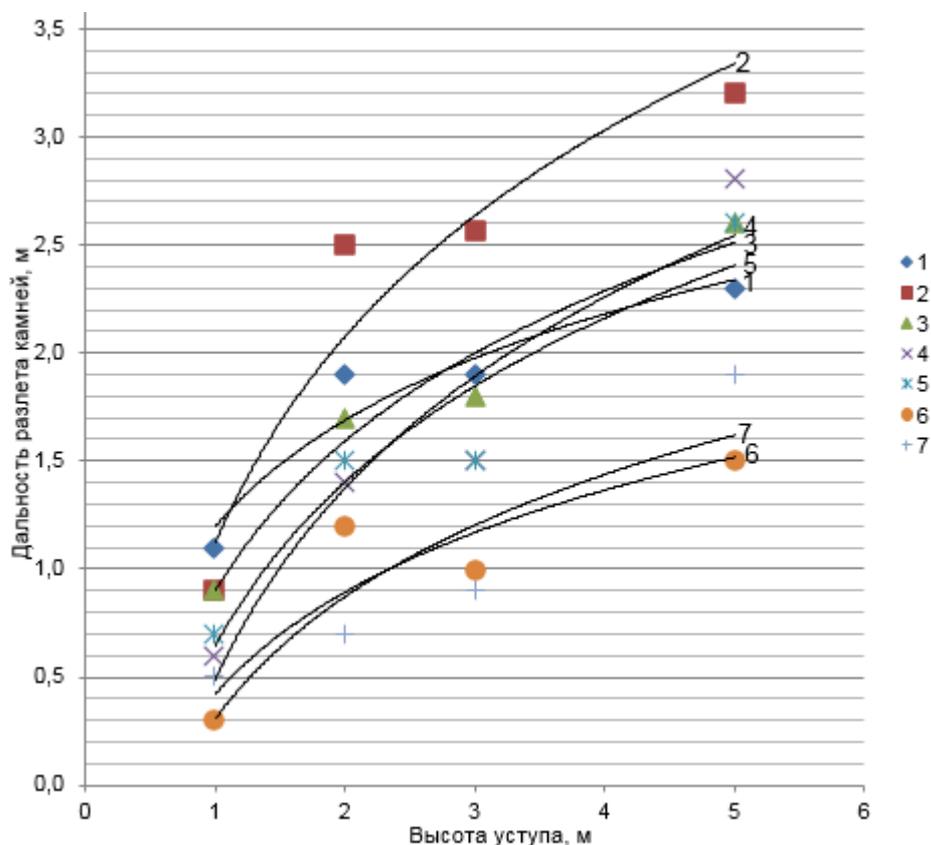


Рис. 4. Зависимость дальности разлета камней от высоты уступа при различных углах откоса уступа: 1 – 45°; 2 – 50°; 3 – 55°; 4 – 60°; 5 – 65°; 6 – 70°; 7 – 75°

Fig. 4. Dependence of rock spread distance on bench height at different angles of bench slope: 1 – 45°; 2 – 50°; 3 – 55°; 4 – 60°; 5 – 65°; 6 – 70°; 7 – 75°



Из результатов исследования можно сделать вывод о том, что при устойчивых породах, позволяющих формировать более крутые уступы, разлет обломков, падающих с вышележащих горизонтов, будет заметно меньше, а площадь, подвергающаяся негативному воздействию обломков, будет минимальной.

В работах [17, 18] приведены зависимости коэффициента трения от размера камней и установлено, что чем меньше размер куска породы, тем выше коэффициент трения. Для уточнения этой зависимости было отобрано шесть модельных образцов (три образца массой 0,4–0,5 кг и три – массой 1–1,3 кг), которые сбрасывались с модельного уступа высотой 2 м с повторением не менее 60 раз. При этом определялась средняя дальность разлета. В результате было выявлено, что с увеличением массы камней незначительно увеличивается и их разлет по берме (рис. 5).

В работе [17] рассмотрено влияние сложного рельефа поверхности уступа на дальность отскока кусков породы. Для определения влияния на разлет камней сформированной у подножия уступа осыпи при моделировании использовали многослойную фанеру, выполняющую роль поверхности осыпи с разными углами откоса. Результаты исследова-

ний, представленные на рис. 6, показали, что с появлением осыпавшейся породы у подножия уступа разлет падающих обломков с вышележащих горизонтов существенно увеличивается. Это, в свою очередь, будет негативно влиять на растительность.

Нарастание осыпей у подножия уступа происходит по-разному на всех этапах формирования. На первоначальном этапе осыпь активно растет в длину до угла 20–25°, далее она растет преимущественно вверх до угла 35–40°, затем осыпь растет примерно одинаково и в длину, и в высоту (рис. 7). Зная этот факт, можно по текущему состоянию установить, в какой стадии формирования находится осыпь, что косвенно может указывать на срок состояния горной выработки (в том случае, если на формирование осыпей не влияют горные работы и дополнительно не ведется засыпка берм).

Знания о процессе формирования осыпи дают возможность определять, как будет развиваться растительность на самих осыпях и на бермах. Если осыпь находится на начальном этапе формирования и активно растет в длину, то растительность, появившаяся у подножия осыпи, будет подвергаться негативному влиянию осыпавшейся породы и засыпаться обломками. Если осыпь находится

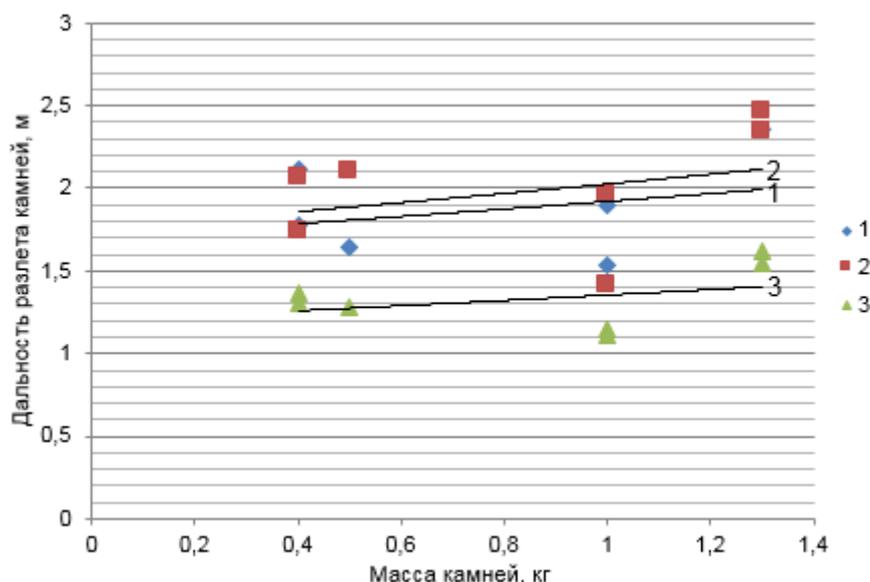


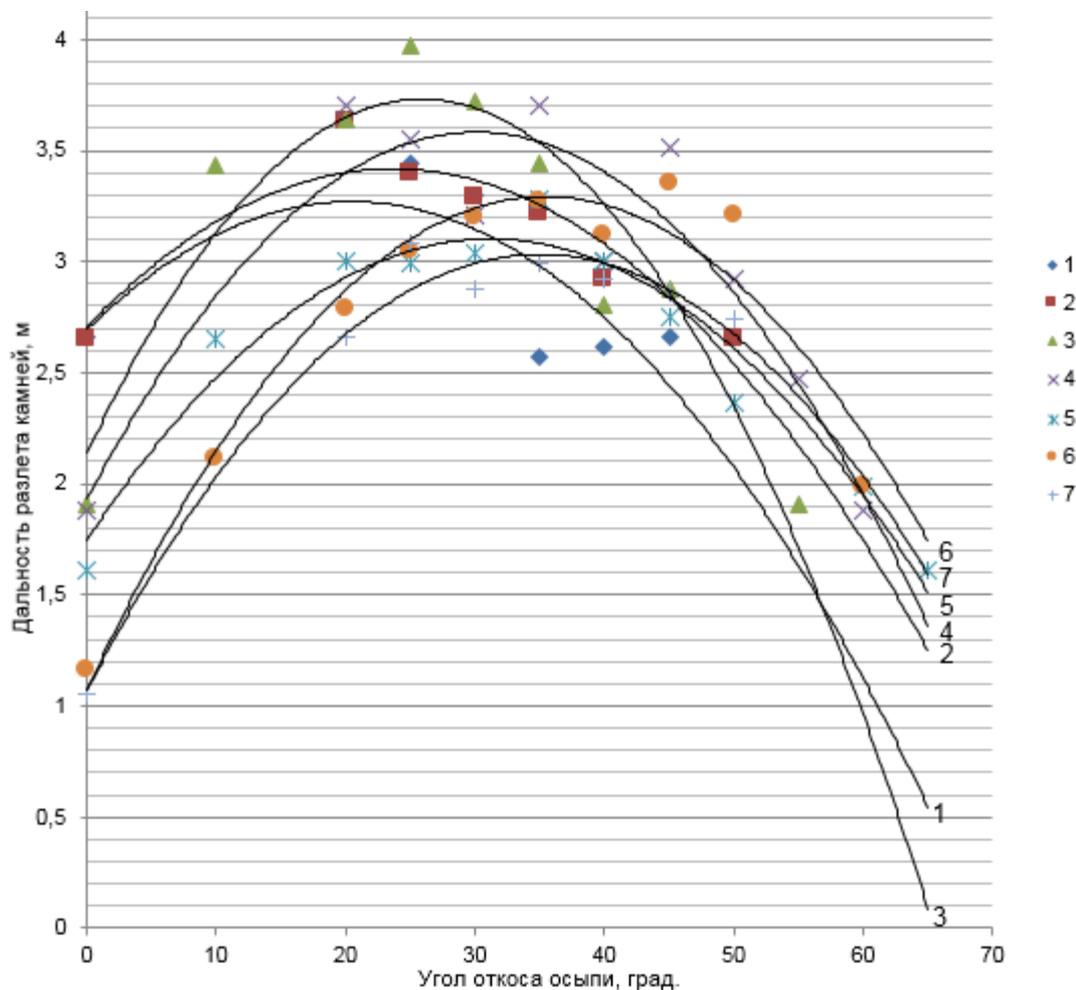
Рис. 5. Зависимость дальности разлета камней от их массы при различных углах откоса уступа (высота уступа – 2 м):  
1 – 30°; 2 – 50°; 3 – 60°

Fig. 5. Dependence of rock spread distance on their weight at different angles of bench slope (bench height is 2 m):  
1 – 30°; 2 – 50°; 3 – 60°



в средней фазе формирования, то растительность у подножия осыпи может успеть окрепнуть до третьего этапа формирования, что в дальнейшем благоприятно скажется на процессе самозарастания. Обломочный мате-

риал, осыпаящийся с вышележащих горизонтов, не будет иметь большой потенциальной энергии и будет задерживаться уже сформировавшейся растительностью.

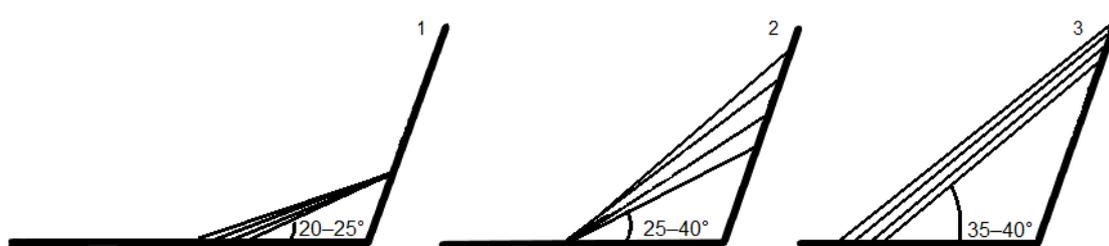


**Рис. 6. Зависимость дальности разлета камней по берму от угла откоса осыпи при различных углах откоса уступа (высота уступа – 3 м):**

1 – 45°; 2 – 50°; 3 – 55°; 4 – 60°; 5 – 65°; 6 – 70°; 7 – 75°

**Fig. 6. Dependence of rock spread distance along berm on scree slope angle at different bench slope angles (bench height is 3 m):**

1 – 45°; 2 – 50°; 3 – 55°; 4 – 60°; 5 – 65°; 6 – 70°; 7 – 75°



**Рис. 7. Процесс формирования осыпи:**

1 этап – осыпь формируется преимущественно в длину; 2 этап – осыпь формируется в основном в высоту;  
3 этап – осыпь формируется равномерно в длину и высоту

**Fig. 7. Scree formation:**

stage 1 – scree is formed mainly in length; stage 2 – scree is formed mainly in height;  
stage 3 – scree is formed equally in length and in height



Для оценки влияния высоты осыпи на разлет камней было проведено моделирование процесса с использованием щитов фанеры разного размера (см. рис. 2, с), что позволило при равном угле и одной высоте уступа создавать разную высоту осыпи. Установлено, что при небольшой высоте осыпи разлет камней увеличивается, а с нарастанием ее высоты разлет заметно уменьшается. Это связано с тем, что при небольшой высоте осыпи падающие камни от нее отскакивают в сторону от подножия уступа, а с увеличением высоты осыпи камни по ней сползают и скатываются (рис. 8).

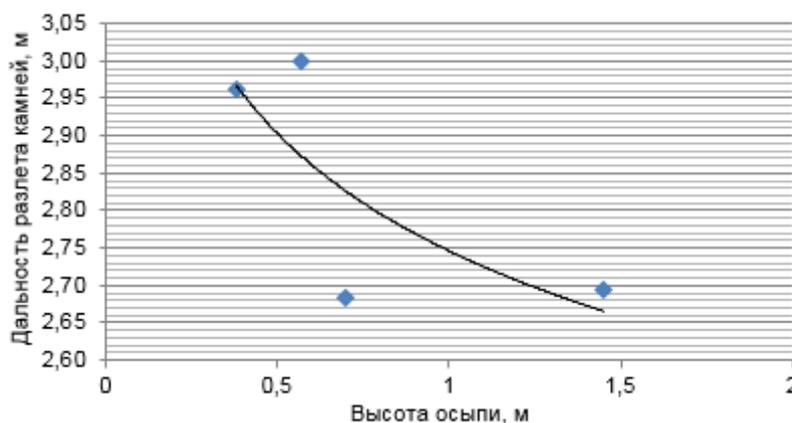
Процесс осыпеобразования на карьерах по добыче строительного камня идет неизменно, и осыпи на бермах карьеров находятся в движении и со временем меняют свой профиль. Было установлено, что процесс формирования имеет три ярко выраженные стадии. Первая стадия характеризуется ростом осыпи в длину до угла  $\alpha = 2-25^\circ$ , далее осыпеобразование переходит во вторую стадию, на которой осыпь растет уже вверх до угла  $\alpha = 25-40^\circ$ , после чего процесс переходит в третью стадию, когда осыпь растет равномерно и в длину, и в высоту. С появлением осыпи дальность разлета камней увеличивается, и при углах откоса уступа  $\beta = 55-65^\circ$  и угле осыпи  $\alpha = 25^\circ$  величина разлета  $L$  имеет максимальное значение. С ростом высоты осыпи разлет камней существенно снижается.

Таким образом, результаты исследований показали целесообразность создания у подножия уступа траншеи глубиной 0,5–0,8 м или предохранительного вала высотой 1–2 м, которые позволят удерживать осыпающуюся породу, имеющую максимальный разлет на начальной стадии формирования осыпи, и тем самым уменьшить повреждение формирующейся растительности. Далее по мере засыпания траншеи уже появившаяся растительность на бермах успеет заметно окрепнуть и будет противостоять расширению осыпи. Комплекс мероприятий по созданию траншеи или вала следует производить сразу после завершения добычных работ.

Породы на карьерах по добыче строительного камня достаточно устойчивые и позволяют формировать угол погашенного уступа<sup>5</sup> до  $60-70^\circ$ , целесообразно принимать высоту уступов 25–30 м с оставлением предохранительных берм шириной 10–12 м.

Для создания благоприятных условий самозарастания нерабочих бортов следует на бермах уступов оставлять слой рыхлых отложений мощностью около 0,4–0,5 м [19, 20].

Ввиду небольшой ценности добываемого на карьерах строительного материала целесообразно оставлять разрыхленные породы на бермах без зачистки скального основания. Этот материал со временем будет насыщаться мелкими фракциями и органикой, что



**Рис. 8. Зависимость дальности разлета камней от высоты осыпи при угле осыпи  $40^\circ$  и высоте уступа 3 м (угол откоса уступа –  $65^\circ$ )**  
**Fig. 8. Dependence of rock spread distance on scree height at the scree angle of  $40^\circ$  and the bench height of 3 m (bench slope angle is  $65^\circ$ )**

<sup>5</sup> Инструкция по наблюдениям за деформациями бортов, откосов уступов и отвалов на карьерах и разработке мероприятий по обеспечению их устойчивости. Утв. Госгортехнадзором СССР 21.07.1970.



станет способствовать закреплению растительности [21, 22]. Если проектом рекультивации предусмотрено нанесение на бермы плодородного слоя или потенциально плодородных пород, то их следует наносить за траншеей или ограждающим валом, для того чтобы обрушающаяся порода их не засыпала.

### Заключение

В заключение вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. Параметры осыпей, образующихся у подножия уступов, в первую очередь зависят от их высоты, углов откосов и состава пород. Установлено, что процесс формирования осыпей имеет три ярко выраженные стадии. На первой стадии осыпь растет в длину до угла  $\alpha = 20\text{--}25^\circ$ , после чего осыпеобразование

переходит во вторую стадию, на которой осыпь растет уже вверх до угла  $\alpha = 25\text{--}40^\circ$ , а затем в третью стадию, когда осыпь растет равномерно и в длину, и в высоту. С появлением осыпи дальность разлета камней увеличивается и при углах откоса уступа  $\beta = 55\text{--}65^\circ$  и угле осыпи  $\alpha = 25^\circ$  достигает максимальных значений.

2. Для ускорения процесса самозарастания берм на нерабочих бортах карьера рекомендуется создавать на них слой рыхлых отложений мощностью 0,4–0,5 м, а для предотвращения повреждения древесной поросли у подножия уступов – формировать траншею для сбора осыпающихся пород или делать камнезащитный вал из рыхлых отложений с целью уменьшения дальности разлета кусков породы.

### Список источников

1. Зеньков И. В., Нефедов Б. Н., Барадулин И. М., Юронен Ю. П., Вокин В. Н., Кирюшина Е. В. Технологии рекультивации и обустройства нарушенных земель в Западной и Восточной Сибири: монография. Красноярск: Изд-во СФУ, 2015. 308 с.
2. Тальгамер Б. Л., Галайда К. П. Исследование условий самозарастания нарушенных земель при добыче строительного камня // Геология, поиски и разведка полезных ископаемых и методы геологических исследований: материалы Междунар. науч.-техн. конф. «Геонауки-2020». Т. 20. Иркутск: Изд-во ИРННТУ, 2020. С. 172–179.
3. Dorthi K., Chandar K. R. Slope stability monitoring in opencast coal mine based on wireless data acquisition system-a case study // International Journal of Engineering & Technology. 2018. Vol. 7. Iss. 2.21. P. 24–28. <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i2.21.11829>.
4. Лазаревич К. С. Склоновые процессы // География. 2001. № 26.
5. Баринин А. Ю. Обоснование выбора конструкции противокаменной завесы для защиты от обвально-осыпных явлений в карьерах // Горный журнал. 2021. № 1. С. 119–121. <https://doi.org/10.17580/gzh.2021.01.21>.
6. Мелихов М. В., Решетняк С. П. Обоснование проектов по инженерной защите техногенных откосов от оползневых и скально-обвальных явлений при строительстве дорог различного назначения // Мир дорог. 2016. № 90. С. 48–53.
7. Решетняк С. П., Аврамова Н. С., Мелихов М. В. Проектирование карьерных дорог и их защиты // Мир дорог. 2017. № 100. С. 66–69.
8. Мелихов М. В., Чащинов Г. В. Применение технологии скейлинг для защиты карьерного автотранспорта от камнепадов // Труды Ферсмановской научной сессии Геологического института Кольского научного центра Российской академии наук. 2017. № 14. С. 311–314.
9. Мелихов М. В., Мелихов Д. В. Опыт защиты людей при проведении инженерных изысканий на карьерных уступах // Проблемы недропользования. 2017. № 1. С. 175–181. <https://doi.org/10.18454/2313-1586.2017.01.175>.
10. Мелихов М. В. Концепция возведения временных противокаменных сооружений на карьерах // Проблемы недропользования. 2018. № 2. С. 130–138. <https://doi.org/10.25635/2313-1586.2018.02.130>.
11. Kumar V., Parkash V. A model study of slope stability in mines situated in south India // Advances in Applied Science Research. 2015. Vol. 6. Iss. 8. P. 82–90.
12. Шубин Г. В., Заровняев Б. Н., Акишев А. Н., Лукин Э. Р. Защита транспортных берм от камнепада с уступов бортов глубоких карьеров // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2019. № 2. С. 243–252.
13. Галайда К. П., Тальгамер Б. Л. Анализ состояния нарушенных земель на карьерах по добыче камня // Безопасность-2014: сборник науч. Тр. XIX Всерос. студ. науч.-практ. конф. с междунар. уч. Иркутск: Изд-во ИРННТУ, 2014. С. 106–108.
14. Зеньков И. В., Барадулин И. М. Результаты исследования условий появления и формирования растительного покрова в отработанных щебеночных карьерах // Уголь. 2017. № 12. С. 69–71. <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2017-12-69-71>.
15. Козыбаева Ф. Е., Котухов Ю. А., Бейсеева Г. Б., Ажикина Н. Ж., Сатков Е. Я., Саркулова Ж. Естественное восстановление растительного покрова, его видовой состав в условиях самозарастания и рекультивации промышленных отвалов рудного месторождения Тишинка ВКО // Почвоведение и агрохимия. 2018. № 4. С. 53–69.
16. Каюмова А. Н. Прогноз последствий камнепада в карьерах // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2004. № 9. С. 257–261.



17. Несмашний Є. О., Ткаченко Г. І., Герасимова К. В. Розроблення фізико-математичної моделі скочування бутів гірської породи з породних відкосів // Гірничий вісник. 2020. Вип. 107. С. 101–106. <https://doi.org/10.31721/2306-5435-2020-1-107-101-106>.

18. Барон Л. И. Характеристики трения горных пород. М.: Наука, 1967. 208 с.

19. Галайда К. П., Тальгамер Б. Л. Антропогенная нагрузка карьеров по добыче строительного камня на окружающую среду Южного Прибайкалья // Сучасні проблеми екології: тези XVII Всеукраїнської наукової оп-ліне конференція здобувачів вищої освіти і молодих учених з міжнародною участю. Житомир: Житомирська

політехніка, 2021. С. 147–148.

20. Галайда К. П. Тальгамер Б. Л. Исследование влияния климата на процесс самозарастания карьеров по добыче известняка // XXI век. Техносферная безопасность. 2021. Т. 6. № 2. С. 211–220. <https://doi.org/10.21285/2500-1582-2021-2-211-220>.

21. Галайда К. П., Тальгамер Б. Л. Оценка эффективности самовосстановления нарушенных земель при добыче строительного камня // Проблемы освоения минеральной базы Восточной Сибири: сб. науч. тр. Вып. 14. Иркутск: Изд-во ИргТУ, 2014. С. 30–36.

22. Павлов В. Н. Растительный покров Западного Тянь-Шаня. М.: Изд-во МГУ, 1980. 246 с.

## References

1. Zen'kov I. V., Nefedov B. N., Baradulin I. M., Yuronen Yu. P., Vokin V. N., Kiryushina E. V. *Reclamation technologies and development of disturbed lands in Western and Eastern Siberia*. Krasnoyarsk: Siberian Federal University; 2015. 308 p. (In Russ.).

2. Talgamer B. L., Galaida K. P. Investigation of self-organized vegetation conditions of disturbed areas at building stone extraction. In: *Geologiya, poiski i razvedka poleznykh iskopaemykh i metody geologicheskikh issledovaniy: materialy Mezhdunarodnoi nauchno-tehnicheskoi konferentsii "Geonauki-2020" = Geology, prospecting and exploration of minerals and methods of geological research: materials of the International scientific and technical conference Geosciences-2020*. Vol. 20. Irkutsk: Irkutsk National Research Technical University; 2020. p.172–179. (In Russ.).

3. Dorthi K., Chandar K. R. Slope stability monitoring in opencast coal mine based on wireless data acquisition system-a case study. *International Journal of Engineering & Technology*. 2018;7(2.21):24-28. <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i2.21.11829>.

4. Lazarevich K. S. Slope processes. *Geografiya*. 2001;26. (In Russ.).

5. Barinov A. Yu. Justification of rockfall-and-rockslide protection screen design for open pit mines. *Gornyi zhurnal*. 2021;1:119-121. (In Russ.). <https://doi.org/10.17580/gzh.2021.01.21>.

6. Melikhov M. V., Reshetnyak S. P. Rationale for projects on rockfall-and-rockslide engineering protection of technological slopes under construction of various-purpose roads. *Mir dorog*. 2016;90:48-53. (In Russ.).

7. Reshetnyak S. P., Avraamova N. S., Melikhov M. V. Design of quarry roads and their protection. *Mir dorog*. 2017;100:66-69. (In Russ.).

8. Melikhov M. V., Chashchinov G. V. Application of scaling technology for the protection of quarry vehicles from rockfalls. *Trudy Fersmanovskoi nauchnoi sessii Geologicheskogo instituta Kol'skogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk*. 2017;14:311-314. (In Russ.).

9. Melikhov M. V., Melikhov D. V. Experience of people protection carrying out engineering survey on pit benches. *Problemy nedropol'zovaniya*. 2017;1:175-181. (In Russ.). <https://doi.org/10.18454/2313-1586.2017.01.175>.

10. Melikhov M. V. Conception of construction of temporary anti-rockfall facilities on the open pits. *Problemy*

*nedropol'zovaniya*. 2018;2:130-138. (In Russ.). <https://doi.org/10.25635/2313-1586.2018.02.130>.

11. Kumar V., Parkash V. A model study of slope stability in mines situated in south India. *Advances in Applied Science Research*. 2015;6(8):82-90.

12. Shubin G. V., Zarovnyayev B. N., Akishev A. N., Lukin E. R. Protection of the transport berms from rockfall from the slopes of the sides of deep open pits. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle = News of the Tula state university. Natural sciences*. 2019;2:243-252. (In Russ.).

13. Galaida K. P. Talgamer B. L. Analysis of disturbed land condition in open pits for stone mining. In: *Bezopasnost'-2014: sbornik nauchnykh trudov XIX Vserossiiskoi studencheskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem = Safety-2014: collected scientific works of the 19<sup>th</sup> All-Russian student scientific and practical conference with international participation*. Irkutsk: Irkutsk National Research Technical University; 2014. p.106–108. (In Russ.).

14. Zenkov I. V., Baradulin I. M. Study results of vegetation emergence and formation in depleted crushed stone quarries. *Ugol' = Russian Coal Journal*. 2017;12:69-71. <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2017-12-69-71>. (In Russ.).

15. Kozybaeva F. E., Kotuhov Yu. A., Beiseeva G. B., Azhikina N. Zh, Satekov E. Ya., Sarkulova J. Natural regeneration of plant cover, their species composition in the conditions of self-overgrowing and recultivation of industrial dumps of ore deposit of Tishinka eastern Kazakhstan region. *Pochvovedenie i agrokhimiya = Soil Science and Agrochemistry*. 2018;4:53-69. (In Russ.).

16. Kayumova A. N. Forecast of rockfall consequences in open pit mines. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten' = Mining informational and analytical bulletin*. 2004;9:257-261. (In Russ.).

17. Nesmashnii E. O., Tkachenko G. I., Gerasimova K. V. Development of a physical and mathematical model for rock rubble rolling from rock slopes. *Gornyi vestnik = Mining Journal*. 2020;107:101-106. (In Ukrainian). <https://doi.org/10.31721/2306-5435-2020-1-107-101-106>.

18. Baron L. I. *Characteristics of rock friction*. Moscow: Nauka; 1967. 208 p. (In Russ.).

19. Galaida K. P., Talgamer B. L. Anthropogenic load of open pits for construction stone mining on the environment of the Southern Baikal region. In: *Sovremennye*



*problemy ekologii: tezisy XVII Vseukrainskoi nauchnoi on-line konferentsiya soiskatelei vysshego obrazovaniya i molodykh uchenykh s mezhdunarodnym uchastiem = Modern environmental problems: abstracts of the 17<sup>th</sup> All-Ukrainian scientific on-line conference of applicants for higher education and young scientists with international participation.* Zhitomir: Zhitomirskaya politehnika; 2021. p.147–148. (In Russ.).

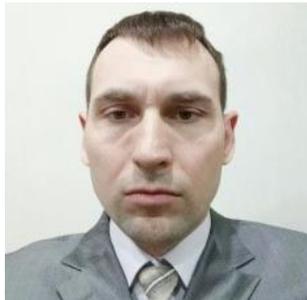
20. Galaida K. P., Talgamer B. L. A study of the impact of climate on the self-growth of limestone quarries. *XXI vek. Tekhnosfernaya bezopasnost' = XXI century. Techno-*

*sphere Safety.* 2021;6(2):211-220. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2500-1582-2021-2-211-220>.

21. Galaida K. P., Talgamer B. L. Evaluation of disturbed land self-restoration effectiveness under building stone mining. In: *Problemy osvoeniya mineral'noi bazy Vostochnoi Sibiri = Problems of development of the mineral base of Eastern Siberia.* Iss. 14. Irkutsk: Irkutsk State Technical University; 2014. p.30–36. (In Russ.).

22. Pavlov V. N. *Vegetation cover of the Western Tien Shan.* Moscow: Lomonosov Moscow State University; 1980. 246 p. (In Russ.).

### Информация об авторах / Information about the authors



**Галайда Константин Павлович,**

аспирант,  
Институт недропользования,  
Иркутский национальный исследовательский технический университет,  
г. Иркутск, Россия,  
galanna82@yandex.ru,  
<https://orcid.org/0000-0001-6637-0053>.

**Konstantin P. Galaida,**

Postgraduate Student,  
Institute of Subsoil Use,  
Irkutsk National Research Technical University,  
Irkutsk, Russia,  
galanna82@yandex.ru,  
<https://orcid.org/0000-0001-6637-0053>.



**Тальгамер Борис Леонидович,**

доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой разработки месторождений полезных ископаемых,  
Институт недропользования,  
Иркутский национальный исследовательский технический университет,  
г. Иркутск, Россия,  
talgamer@istu.edu,  
<https://orcid.org/0000-0003-1413-0116>.

**Boris L. Talgamer,**

Dr. Sci. (Eng.), Professor,  
Head of the Department of Mineral Deposits Development,  
Institute of Subsoil Use,  
Irkutsk National Research Technical University,  
Irkutsk, Russia,  
talgamer@istu.edu,  
<https://orcid.org/0000-0003-1413-0116>.

### Вклад авторов / Contribution of the authors

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.  
The authors contributed equally to this article.

### Конфликт интересов / Conflict of interests

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.  
The authors declare no conflicts of interests.

*Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.*  
*The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.*

### Информация о статье / Information about the article

Статья поступила в редакцию 02.04.2021; одобрена после рецензирования 15.07.2021; принята к публикации 20.08.2021.

The article was submitted 02.04.2021; approved after reviewing 15.07.2021; accepted for publication 20.08.2021.