

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ САМОЗАРАСТАНИЯ НАРУШЕННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПОСЛЕ ДОБЫЧИ ПЕСЧАНО-ГРАВИЙНЫХ ПОРОД В СТЕПНОЙ ЗОНЕ

А.Ю. Болотнев¹, К.Б. Нечаев¹, Д. Батжаргал¹, Б.Н. Олзоев¹

¹ Иркутский национальный исследовательский технический университет,
Иркутск, Россия, e-mail: kosmos@istu.edu

Аннотация: Представлены результаты исследования процесса самозарастания нарушенных земель в степной зоне Иркутской области на примере заброшенного карьера по добыче песчано-гравийных пород. Установлено, что при естественном зарастании увлажнение поверхности дна карьера происходит неравномерно, что приводит к формированию локальных зон с повышенной влажностью и точечному восстановлению растительности. Для интенсификации процесса самозарастания предложено выполнять грубую планировку дна карьера в виде нарезки борозд с использованием бульдозера-рыхлителя. Разработана аналитическая методика расчета площади межгребневого пространства, позволяющая с высокой точностью (сходимость с графоаналитическим методом) определять параметры рыхления в зависимости от угла внутреннего трения грунта, глубины рыхления, ширины захвата рыхлителя и коэффициента разрыхления. Выполнен расчет среднего поступления воды в карьер от атмосферных осадков в теплый период года при фактическом его состоянии и после нарезки борозд. В процентном отношении разница между водопритоками в карьер для относительно горизонтальной поверхности дна и его поверхности с бороздами составила 11%. Показано, что создание бороздчатого микро-рельефа способствует равномерному распределению атмосферных осадков по всей площади дна карьера, увеличивает увлажнение грунтов и положительно влияет на степень самозарастания нарушенной поверхности.

Ключевые слова: степная зона, открытые горные работы, нарушенные земли, восстановление растительности, самозарастание земель, борозды, увлажнение грунтов, рыхление горных пород.

Для цитирования: Болотнев А. Ю., Нечаев К. Б., Батжаргал Д., Олзоев Б. Н. Интенсификация самозарастания нарушенной поверхности после добычи песчано-гравийных пород в степной зоне // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2026. – № 8. – С. 41–52. DOI: 10.25018/0236_1493_2026_8_0_41.

Stimulation of self-healing of disturbed land after sand-and-gravel extraction in steppe zone

A.Yu. Bolotnev¹, K.B. Nechaev¹, D. Batjargal¹, B.N. Olzoev¹

¹ Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia, e-mail: kosmos@istu.edu

Abstract: The article describes the research findings on self-healing of disturbed land in the steppe zone in the Irkutsk Region as a case-study of an abandoned sand-and-gravel quarry. It is

found that in natural healing, moistening of the bottom surface of the quarry occurs nonuniformly, which results in the formation of local zones with higher moisture content and leads to dotty revegetation. To stimulate self-healing, it is proposed to perform coarse levelling of the quarry bottom, with ridging using an angle dozer. An analytical design procedure is offered to calculate the area of valley, which allows a high accuracy (agreement with the semigraphical method) of determination of ripping parameters depending on the internal friction angle of soil, ripping depth, ripper width and the degree of ripping. The average entry of water in the quarry from rainfall in the warm season is calculated in the actual condition of the quarry bottom and after ridging. The difference between the values of water entry in the quarry with relatively horizontal and ridged bottom surface was 11%. It is shown that creation of the ridged micro-relief facilitates uniform distribution of rainfall over the area of the quarry bottom, improves moistening of soil and has a beneficial effect on self-healing of the disturbed land surface.

Key words: steep zone, open pit mining, disturbed land, revegetation, land self-healing, soil moistening, rock ripping.

For citation: Bolotnev A. Yu., Nechaev K. B., Batjargal D., Olzoev B. N. Stimulation of self-healing of disturbed land after sand-and-gravel extraction in steppe zone. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2026;(8):41-52. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2026_8_0_41.

Введение

Горнодобывающая промышленность является одной из приоритетных отраслей, необходимой для роста экономики и пространственного развития территорий [1]. Эксплуатация месторождений полезных ископаемых, разрабатываемых открытым способом, оказывает негативное влияние на экосистему территории, включающую рельеф, растительный покров и другие элементы природного ландшафта. При применении открытого способа разработки полезных ископаемых, составляющего до 75% всех горных работ в мире, ущерб наносится в первую очередь земельным ресурсам [1–4]. Нарушение поверхности земли и отсутствие растительности отмечается на карьерах, расположенных в степных ландшафтах [5–7].

Скорость зарастания карьеров по добыче песков и состав их растительности зависят от ряда факторов, к которым относятся: климат района, состав и влажность грунта, площадь нарушенных земель, окружающая растительность и другие особенности [8–11].

Степная зона характеризуется контрастным климатом с ярко выраженной континентальностью, что проявляется в больших суточных и сезонных перепадах температур, недостаточной увлажненности и сильных ветрах.

На заброшенных песчаных карьерах в степной зоне растительность появляется через 5–7 лет, через 10–12 лет она может включать 5–10 видов самых устойчивых растений. К этому времени задерненность территории составляет 70–80% [12–14].

Рекультивация земель природоохранного направления в карьерах песчано-гравийных пород основана на самозарастании и нацелена на эффективное восстановление растительного покрова. Благоприятные естественные условия (рыхлые отложения с достаточным количеством мелкозернистых фракций пород, хорошие увлажненность, теплообеспеченность и освещенность территории) способствуют быстрому восстановлению растительности [15–18].

Борозды или бороздчатый микро-рельеф, создаваемые в рамках рекульти-

вазии нарушенных земель, также могут способствовать более быстрому восстановлению растительного покрова. Для успешного восстановления растительности на откосах необходимо учитывать баланс между их устойчивостью и условиями для произрастания растений [19].

В связи с этим целью работы является анализ эффективности рекультивации с применением борозд для более равномерного распределения осадков на нарушенной поверхности после добычи песчано-гравийных пород в условиях степной зоны.

Методы

В работе представлено теоретико-методическое обоснование технологии рекультивации нарушенных территорий, основанной на применении системы борозд, что обеспечивает равномерное распределение атмосферных осадков по поверхности участка, снижает поверхностный сток и интенсивность эрозийных процессов, а также создает благоприятные условия для эффективного самозарастания поверхности и последующего формирования устойчивого растительного покрова.

Система борозд основана на учете рельефа местности и климатических особенностей региона. Геометрические параметры борозд (глубина, ширина, уклон, расстояние между ними) определяются на основе расчетных моделей влагопереноса и баланса влаги. Такая система выполняет несколько функций:

- аккумулирует дождевую и талую воду в локальных зонах;
- направляет сток в безопасные участки;
- предотвращает размыв и смыв плодородного слоя;
- создает микрозоны с повышенной влажностью, благоприятные для прорастания семян и развития растительности.

Методология исследования включает [15, 16, 20]:

- теоретико-аналитический метод — углубленное изучение и систематизацию научных публикаций и нормативных документов по вопросам рекультивации земель, геотехнологии освоения и восстановления территорий заброшенных карьеров;

- графоаналитический метод и компьютерное моделирование — применение современного программного обеспечения (AutoCAD, NanoCAD, а также ГИС-технологий) для проектирования схемы размещения борозд с учетом уклонов, визуализации системы борозд, оформления чертежей, схем и планов рекультивационных работ в соответствии с требованиями нормативной документации;

- методику расчета зоны развала грунта при рекультивации горизонтальной поверхности бульдозером-рыхлителем, основанную на комплексном учете геометрических параметров рыхления (глубина рыхления, шаг зубьев, угол наклона рабочего органа). Расчет позволяет прогнозировать форму и размеры зоны развала; оптимизировать параметры работы техники для минимизации энергозатрат; обеспечить равномерность распределения разрыхленного грунта по поверхности; снизить риск образования локальных зон уплотнения или переувлажнения;

- полевые исследования — проведение экспериментальных работ на участках рекультивации с замером самозарастания в зонах с различной плотностью и конфигурацией борозд. Были выбраны экспериментальные участки, на которых были посеяны семена разнотравий, что позволило определить наиболее благоприятный склон по экспозиции для отработки методики расчета зоны развала грунта при рекультивации поверхности бульдозером-рыхлителем.

Результаты и их обсуждение

Рекультивация нарушенных земель в степной зоне представляет собой комплексную инженерно-экологическую задачу, где ключевым фактором успешного восстановления растительного покрова является влагообеспеченность нарушенной поверхности [20]. Полевые исследования нарушенной поверхности проводились ранее на брошенных карьерах в степной зоне Иркутской области и Монголии [21]. Общая площадь Иркутской области составляет 0,8 млн км², или 4,5% площади всей территории Российской Федерации. Климат района является резко континентальным. Зимний период продолжается около 6 месяцев, весенний период — 15—50 дней, летний период — 3 месяца, и осень — 30—40 дней.

В весенний период года негативное влияние на поверхность почвы оказывают следующие факторы: морозное выветривание, резкие суточные колебания температуры воздуха (достигающие 25—30 °С), низкая влажность воздуха (до 30%), усиление ветра и интенсивная солнечная радиация. Морозное выветривание свойственно климатическим особенностям Иркутской области.

Нагрев поверхностного слоя и, соответственно, его скорость оттаивания зависят от экспозиции склонов, рельефа местности и типа почвы. На возвышенных участках процесс оттаивания идет сравнительно быстрее, чем на пониженных. В микровпадинах и на пониженных участках наблюдается скопление талых вод, которые часто застаиваются до конца мая. Легкие, супесчаные, песчаные и с обильным включением щебнистого материала почвы прогреваются относительно быстрее.

Перечисленные выше особенности климата степной зоны Иркутской области рекомендуется учитывать при проведении рекультивации нарушенных зе-

мель. Процесс рекультивации земель с самозарастанием в карьерах песчано-гравийных пород основан на комплексном подходе. К основным факторам комплексного подхода относится учет природных факторов, планировка поверхности, а также учет микрорельефа и предотвращение эрозивных процессов почв.

К природным факторам относится состав пород в поверхностном слое, их увлажненность, теплообеспеченность и освещенность территории, наличие рыхлых отложений. Благоприятные климатические условия способствуют более быстрому восстановлению растительности. Планировка поверхности бортов и дна карьера ведет к снижению возникновения риска эрозии, а также создает более благоприятные условия для роста растений. Различные понижения рельефа поверхности становятся начальными точками восстановления растительности благодаря скоплению влаги [21]. К мероприятиям по предотвращению водной и ветровой эрозии относятся создание защитных конструкций, регулирование стока воды и другие инженерные решения.

С целью эффективного влагонасыщения нарушенной поверхности карьеров в условиях степной зоны при рекультивации земель авторы статьи рекомендуют применять механическое рыхление пород бульдозером. При таком рыхлении будет формироваться зона развала грунта в виде водосборной борозды, в которую будут поступать (стекать) атмосферные осадки.

В традиционную методику расчета рыхления с применением бульдозера входит определение отношения объема разрыхленной горной массы к единице времени [19, 20]. Для определения площади рыхления данная методика не подходит. Одним из способов определения площади разрыхленного грунта

с использованием бульдозера на стадии проектирования и отработки карьеров является графоаналитический способ. Исходными характеристиками для проектирования служат данные по углу внутреннего трения грунта в целике (φ), глубине рыхления (h) и ширине захвата рыхлителя (b_p), а также значения коэффициента разрыхления (K_p) и угла естественного откоса в разрыхленном состоянии грунта (α).

На рис. 1 представлены схемы образования развала борозды для разных углов внутреннего трения грунта: $\varphi = 30^\circ$ (рис. 1, а), $\varphi = 45^\circ$ (рис. 1, б), $\varphi = 60^\circ$ (рис. 1, в), значения других параметров: $h = 0,7$ м, $b_p = 0,23$ м, $K_p = 1,25$, $\alpha = 35^\circ$ являются константами.

Традиционное использование графоаналитического способа дает детальную картину образования развала и, соответственно, значение площади разрыхлен-

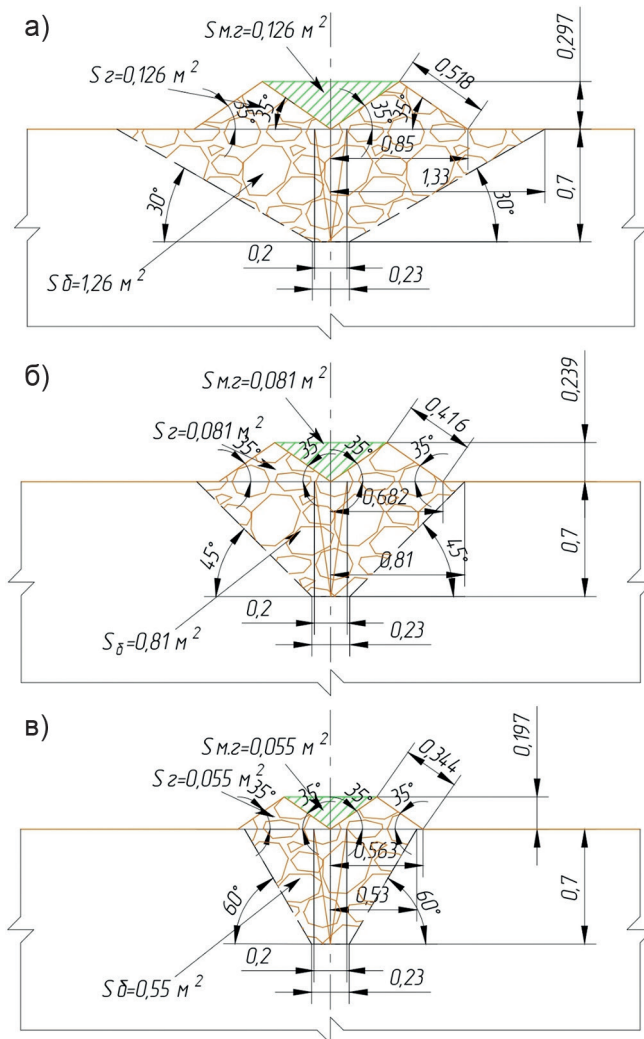


Рис. 1. Схема формирования развала борозды; разрез при механическом рыхлении: $S_{м.г}$ — площадь межгребневого пространства, $S_{г}$ — суммарная площадь двух гребней, $S_{б}$ — общая площадь борозды
Fig. 1. The scheme of formation of the collapse of the furrow, the incision during mechanical loosening

ной поверхности, что является неотъемлемой частью проектирования.

Для расчета площади графоаналитическим методом проектирование должно осуществляться в специализированных программах, с обязательным присутствием квалифицированного проектировщика и наличием временных ресурсов. При изменении входных параметров проектирование объекта выполняется заново. Поэтому для предварительного расчета площади развала борозды необходимо пользоваться аналитическим расчетом. Такой расчет возможен при использовании тригонометрических функций и приводится ниже.

При работе бульдозера с рыхлителем на поверхности образуются два разрыхленных навала (два гребня) с левой и правой стороны, суммарная площадь которых рассчитывается по формуле

$$S_r = b_p + h \cdot \tan(90 - \varphi) \cdot h \cdot (K_p - 1), (1)$$

где b_p — нижняя ширина захвата рыхлителя с учетом коэффициента расширения грунта, равного $K_r = 1,15$ м; h — глубина рыхления, м; φ — угол внутреннего трения грунта в целике; K_p — коэффициент разрыхления грунта.

Формула (1) позволяет определить площадь гребней (S_r). Для нахождения

площади межгребневого пространства $S_{мг}$ угол внутреннего трения разрыхленного грунта принят $\alpha = 35^\circ$. Катеты треугольника a , b и гипотенуза c рассчитываются по формулам: $a = c \cdot \cos(\alpha)$, $b = c \cdot \sin(\alpha)$, $c^2 = a^2 + b^2$. Искомая площадь определяется как площадь треугольника.

В качестве примера в таблице представлены результаты расчета площади межгребневого пространства для разных типов грунтов графоаналитическим и аналитическим методами.

Достоверность аналитического расчета имеет точную сходимость с графоаналитическим способом решения задачи. Данная методика подходит для нахождения площади зоны развала грунта с учетом глубины рыхления и угла внутреннего трения при рекультивации горизонтальной поверхности бульдозером-рыхлителем в зависимости от φ , α , K_p , h , b_p .

Общий вид борозд на горизонтальной поверхности представлен на рис. 2. Площадь горизонтальной поверхности будет зависеть от расстояния между бороздами и их длины. Площадь пространства между гребнями рассчитывается по вышеуказанным формулам.

В качестве объекта исследования выбран заброшенный карьер (рис. 3), рас-

Параметры развала борозды The parameters of the furrow collapse

Параметры	Значения		
Угол внутреннего трения грунта в целике, φ , град	30	45	60
Коэффициент разрыхления, K_p	1,25		
Нижняя ширина захвата рыхлителя, b_p , м	0,23		
Глубина рыхления, h , м	0,7		
Общая площадь борозды, S_b , м ²	1,26	0,81	0,55
Суммарная площадь двух гребней, S_r , м ²	0,25	0,163	0,11
Площадь межгребневого пространства. Графоаналитический метод, $S_{мг}$, м ²	0,126	0,081	0,055
Площадь межгребневого пространства. Аналитический метод, $S_{мг}$, м ²	0,126	0,081	0,055

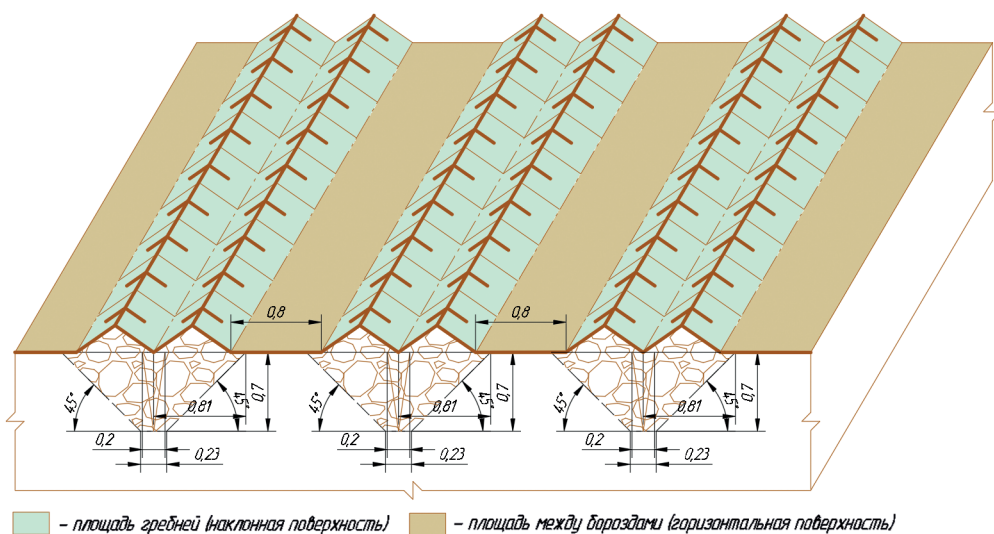


Рис. 2. Горизонтальная поверхность дна карьера с бороздами

Fig. 2. Horizontal surface of the quarry bottom with furrows

положенный в Кудинской степной долине на юге Иркутской области, вблизи пос. Усть-Ордынский. Добыча полезных ископаемых производилась в 80-е годы прошлого века. В настоящее время карьер не используется, захламляется мусором, имеются участки с разреженной растительностью. Поверхность дна карьера состоит из подстилающих пустынно-степных грунтов (суглинки, супеси и др.). Глубина карьера составляет не более 8 м, углы откосов бортов варьируются от 10° до 80° .

Среднее поступление воды в карьер от атмосферных осадков в теплый период года определяется по следующей формуле:

$$Q_{\text{атм}} = \frac{h_0 \cdot (\lambda_K \cdot F_K + \lambda_P \cdot F_P + \lambda_0 \cdot F_0)}{T}, \quad (2)$$

где h_0 – слой осадков за теплый период года, $h_0 = 273$ мм [патент СССР № 1496661, ГОСТ Р 59057-2020]; F_K – площадь дна карьера (горизонтальная поверхность), $F_K = 8,09$ тыс. м²; F_P – площадь водосбора прилегающих территорий, $F_P = 31,15$ тыс. м²; F_0 – площадь внутренних откосов отвалов, $F_0 =$

$= 3,53$ тыс. м²; λ_K – коэффициент стока в пределах карьера с горизонтальной поверхности, $\lambda_K = 0,4$ [21, 22]; λ_P – коэффициенты стока с прилегающих территорий, $\lambda_P = 0,3$; λ_0 – коэффициенты стока с бортов карьера, $\lambda_0 = 0,5$; T – продолжительность теплого периода, $T = 180 \times 24 = 4320$ ч.

По данным расчета, среднее поступление воды в карьер от атмосферных осадков в теплый период года составляет $0,91$ м³/ч [22].

После завершения эксплуатации месторождения на нарушенной поверхности дна карьера сформировался незначительный уклон в северо-западном направлении. Поток воды от атмосферных осадков распределяется по точкам, лежащим ниже горизонтальной поверхности дна карьера (ямы, канавы). Такое распределение потоков воды является сосредоточенным и не обеспечивает равномерного увлажнения пород на всей площади дна карьера.

Для равномерного распределения водных притоков от атмосферных осадков по дну месторождения предлагается по всей площади поверхности выполнить

нарезку борозд с использованием рыхлительного оборудования бульдозера. Площадь поверхности рыхления рассчитывается по формуле (1), расстояние между бороздами принято 0,8 м [19]. Общий вид карьера с бороздами представлен на рис. 3.

Поверхность дна карьера после нарезки борозд будет нарушена. Между бороздами поверхность относительно горизонтальная, у борозд – наклонная. Изначальная площадь поверхности дна карьера ($F_k = 8,09$ тыс. м²) изменится, т.е. образуются два участка с разными

поверхностями. Среднее поступление воды в карьер от атмосферных осадков в теплый период года для поверхности дна с бороздами рассчитывается по формуле

$$Q_{\text{атм.б}} = \frac{h_0 \cdot (\lambda_k \cdot F_k + \lambda_p \cdot F_p + \lambda_0 \cdot F_0 + \lambda_p \cdot F_p)}{T} \quad (3)$$

где F_p – площадь разрыхленной поверхности, $F_p = 5,97$ тыс. м²; λ_p – коэффициент стока с разрыхленной поверхности, $\lambda_p = 0,15$ [23].

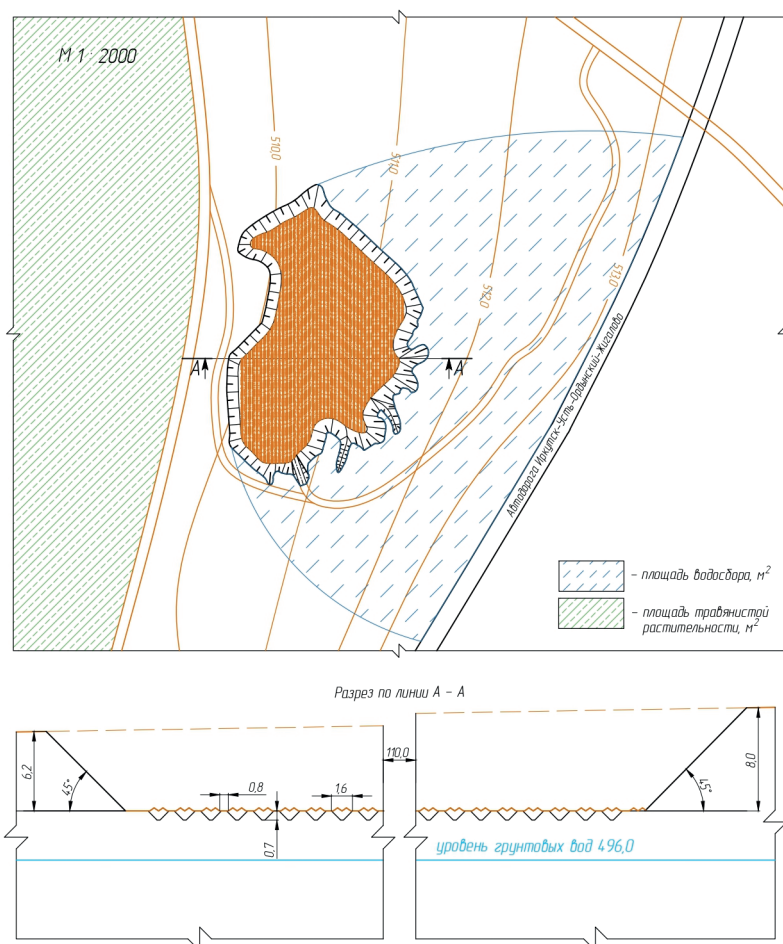


Рис. 3. Общий вид карьера с бороздами: схема карьера (а); разрез по линии А-А (б)
Fig. 3. General view of the quarry with furrows: quarry diagram (a); section along line A-A (b)

Среднее поступление воды в карьер от атмосферных осадков в теплый период года для карьера с бороздами составит 0,81 м³/ч.

В процентном отношении разница между водопритоками в карьер для относительно горизонтальной поверхности дна и поверхности с бороздами будет незначительной и составит 11%.

При этом атмосферные осадки со дна карьера будут равномерно распределены по всей его площади. Такое равномерное распределение будет положительно влиять на увлажнение грунта и на степень самозарастания.

Заключение

В результате проведенного анализа нарушенной поверхности после добычи песчано-гравийных пород в условиях

степной зоны на заброшенном карьере было установлено, что при выпадении атмосферных осадков в теплый период года происходит неравномерное увлажнение пород на дне карьера.

Такое распределение влаги приводит к формированию отдельных участков на поверхности дна карьера с повышенной влажностью.

С целью исключения формирования отдельных зон скапливания поверхностных вод на дне карьера, и, как следствие, точечного зарастания его поверхности, рекомендуется проводить горно-техническую рекультивацию с грубой планировкой дна карьера в виде нарезки борозд. Такое решение способствует равномерному распределению поверхностных вод и увеличению степени зарастания нарушенной поверхности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кочешнов А. С. Оценка социо-эколого-экономического развития территории углепромышленных регионов Восточной Сибири и Дальнего Востока // Горная промышленность. — 2023. — № 2. — С. 112 — 119. DOI: 10.30686/1609-9192-2023-2-112-119.
2. Кумачева В. Д. Восстановление растительного покрова в ходе экогенетической сукцессии на техногенной территории в условиях Нижнего Дона [электронный ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. [сайт]. [2023]. URL: http://agroecoinfo.ru/СТАТУИ/2023/6/st_610.pdf (дата обращения: 31.01.2026).
3. Гаврилова О. И. Восстановление растительного покрова песчано-гравийных карьеров // Труды лесоинженерного факультета ПетрГУ. — 2010. — № 8. — С. 21 — 25.
4. Sengupta M. Environmental impacts of mining: Monitoring, restoration, and control. UK: CRC Press. 2021, 374 p. DOI: 10.1201/9781003164012.
5. Agus C., Wulandari D., Cahyanty P. A. B., Bantara I. Environmental site engineering and integrated bio-cycles management for rehabilitation of degraded Tin Mining land in tropical ecosystem // IOP Conference Series Earth and Environmental Science. 2019, vol. 398, no. 1, article 012013. DOI: 10.1088/1755-1315/398/1/012013.
6. Hu J., Ye B., Bai Z., Hui J. Comparison of the vegetation index of reclamation mining areas calculated by multi-source remote sensing data // Land. 2022, vol. 11, article 325. DOI: 10.3390/land11030325.
7. Dos Anjos Leal O., Miguel P., Rodrigues M. F., Locks Guimarães R. M., Spinelli Pinto L. F., Silva T. P., Brito Pinto M. A., Nachtigall S. D., Stumpf L. First validation of the method Visual Evaluation of Soil Structure in coal mining area using a long-term field revegetation experiment as testbed // Soil and Tillage Research. 2025, vol. 246, article 106347. DOI: 10.1016/j.still.2024.106347.
8. Гончар Н. В., Пикалов В. А., Соколовский А. В., Терешина М. А. Экологосбалансированная геотехнология освоения природных и техногенных георесурсов // Горная промышленность. — 2024. — № 4. — С. 68 — 73. DOI: 10.30686/1609-9192-2024-4-68-73.
9. Соколова Н. А., Госсен И. Н., Соколов Д. А. Оценка пригодности вегетационных индексов для выявления почвенно-экологического состояния поверхности отвалов антрацитовых месторождений // Экология и промышленность России. — 2020. — № 24(1). — С. 62 — 68. DOI: 10.1051/e3sconf/202129102021.

10. Kapitonova O., Aksarina K. On some physical and chemical properties of soils of sandy outcrops of the West Siberian northern regions // *Environmental Dynamics and Global Climate Change*. 2019, vol. 10, no. 1, pp. 28–37. DOI: 10.17816/edgcc10533.

11. Дмитрикова Я. А., Сумина О. И. Зарастание песчаных карьеров: влияние рельефа на размещение видов-колонистов // *Успехи современного естествознания*. — 2012. — № 11. — С. 86–88.

12. Сизов О. С. Динамика зарастания сухоройных песчаных карьеров в северо-таежных условиях Западной Сибири за период с 1985 по 2021 г. // *Географическая среда и живые системы*. — 2025. — № 1. — С. 41–52. DOI: 10.18384/2712-7621-2025-1-41-52.

13. Домнин И. А. Динамика зарастания песчаного карьера на территории Боровского района / Сборник докладов I Международной молодежной конференции «Генетические и радиационные технологии в сельском хозяйстве». — Обнинск: НИЦ «Курчатовский институт» — ВНИИРАЭ, 2022. — С. 268–269.

14. Soromotin A. V., Lanza G. R., Sizov O. S., Lobotrosova S. A., Abakumov E. V., Zverev A. O., Yakimov A. S., Konstantinov A. O., Kurasova A. O., Prihod'ko N. V., Salavatulin V. M., Varentsov M. I., Alharbi S. A., Alotaibi Kh. D., Kuzyakov Ya. Cyclic and linear trajectories of ecosystem evolution on sand dunes in Siberian taiga: A comprehensive analysis // *Science of the Total Environment*. 2024, vol. 928, article 172265. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.172265.

15. Тальгамер Б. Л., Мурзин Н. В., Рославцева Ю. Г., Семенов М. Е. Обоснование углов выполаживания нарушенных земель при природоохранной рекультивации карьеров в рыхлых отложениях // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. — 2021. — № 3. — С. 128–141. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-3-0-128-141.

16. Розинкина Е. П., Башегуров К. А., Котова В. С., Осипенко Р. А., Залесов С. В. Технология проведения рекультивации нарушенных земель на примере песчаного карьера в Западно-Сибирском северотаежном равнинном лесном районе // *Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии*. — 2024. — № 4 (80). — С. 81–87. DOI: 10.48012/1817-5457_2024_4_81-87.

17. Батжаргал Д., Тальгамер Б. Л., Олзоев Б. Н., Болотнев А. Ю. Анализ степени зарастания нарушенных земель при добыче стройматериалов в условиях степной зоны Монголии // *Известия Уральского государственного горного университета*. — 2024. — № 1 (73). — С. 114–120. DOI: 10.21440/2307-2091-2024-1-114-120.

18. Zarovnyaev B. N., Shubin G. V., Budikina M. E., Sobakina M. P., Danilov A. A. Estimation of the efficiency of disturbed land reclamation / 21st International Scientific Multidisciplinary Conference on Earth and Planetary Sciences SGEM 2021. Bulgaria, 2021, pp. 371–378. DOI: 10.5593/sgem2021/1.1/s03.050.

19. Чувилин А. Г. Экологические проблемы добычи, транспортировки, переработки и использования золота на Озерновском рудном поле Карагинского района // *Вестник Камчатского государственного технического университета*. — 2012. — № 21. — С. 78–89.

20. Антонинова Н. Ю., Корнилков С. В., Кузнецова Я. А., Шубина Л. А. Экологические аспекты рекультивации отвалов вскрышных пород // *Проблемы недропользования*. — 2024. — № 1(40). — С. 57–66.

21. Батжаргал Д., Тальгамер Б. Л., Болотнев А. Ю., Олзоев Б. Н. Оценка самозарастания земель, нарушенных горными работами, в условиях степной зоны // *Международный научно-исследовательский журнал*. — 2024. — № 6(144). URL: <https://research-journal.org/archive/6-144-2024-june/10.60797/IRJ.2024.144.19> (дата обращения: 08.05.2026). DOI: 10.60797/IRJ.2024.144.19.

22. Личаев В. Р., Есеновская Л. Н., Чикин Ю. М. Руководство по выбору и проектированию систем водоснабжения, водоотведения и способам водоподготовки при разработке россыпных месторождений. — Иркутск: Изд-во ИГУ, 1990. — 160 с.

23. Сурашов Н. Т., Толымбек Д. Н. Разработка комплексных показателей и оценка эффективности землеройно-транспортных машин отвалного типа // *Вестник СибАДИ*. — 2022. — № 19(6). — С. 814–827. DOI: 10.26518/2071-7296-2022-19-6-814-827. **ГИАБ**

REFERENCES

1. Kocheshnov A. S. Assessment of social, environmental and economic development of coal-mining regions of Eastern Siberia and the Far East. *Russian Mining Industry Journal*. 2023, no. 2, pp. 112–119. [In Russ]. DOI: 10.30686/1609-9192-2023-2-112-119.

2. Kumacheva V. D. Revegetation cover during ecogenetic succession in a technogenic area in the Lower Don region. *AgroEcoInfo: Electronic scientific and production journal*, 2023. [In Russ], available at: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2023/6/st_610.pdf (accessed 31.01.2026).
3. Gavrilova O. I. Restoration of the vegetation cover of sand and gravel quarries. *Research reports of Forest Engineering Faculty of Petrozavodsk State University*. 2010, no. 8, pp. 21 – 25. [In Russ].
4. Sengupta M. *Environmental impacts of mining: Monitoring, restoration, and control*. UK: CRC Press. 2021, 374 p. DOI: 10.1201/9781003164012.
5. Agus C., Wulandari D., Cahyanty P. A. B., Bantara I. Environmental site engineering and integrated bio-cycles management for rehabilitation of degraded Tin Mining land in tropical ecosystem. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*. 2019, vol. 398, no. 1, article 012013. DOI: 10.1088/1755-1315/398/1/012013.
6. Hu J., Ye B., Bai Z., Hui J. Comparison of the vegetation index of reclamation mining areas calculated by multi-source remote sensing data. *Land*. 2022, vol. 11, article 325. DOI: 10.3390/land11030325.
7. Dos Anjos Leal O., Miguel P., Rodrigues M. F., Locks Guimarães R. M., Spinelli Pinto L. F., Silva T. P., Brito Pinto M. A., Nachtigall S. D., Stumpf L. First validation of the method Visual Evaluation of Soil Structure in coal mining area using a long-term field revegetation experiment as testbed. *Soil and Tillage Research*. 2025, vol. 246, article 106347. DOI: 10.1016/j.still.2024.106347.
8. Gonchar N. V., Pikalov V. A., Sokolovsky A. V., Tereshina M. A. Ecologically balanced geotechnology for the development of natural and man-made georesources. *Russian Mining Industry Journal*. 2024, no. 4, pp. 68 – 73. [In Russ]. DOI: 10.30686/1609-9192-2024-4-68-73.
9. Sokolova N. A., Gossen I. N., Sokolov D. A. Assessment of the suitability of vegetation indices for identifying the soil-ecological state of the surface of anthracite deposit dumps. *Ecology and Industry of Russia*. 2020, no. 24(1), pp. 62 – 68. [In Russ]. DOI: 10.1051/e3sconf/202129102021.
10. Kapitonova O., Aksarina K. On some physical and chemical properties of soils of sandy outcrops of the West Siberian northern regions. *Environmental Dynamics and Global Climate Change*. 2019, vol. 10, no. 1, pp. 28 – 37. DOI: 10.17816/edgcc10533.
11. Dmitrakova Ya. A., Sumina O. I. Overgrowing of sand quarries: the influence of relief on the distribution of colonizing species. *Advances in current natural sciences*. 2012, no. 11, pp. 86 – 88. [In Russ].
12. Sizov O. S. Dynamics of overgrowing of dry sand quarries in the northern taiga conditions of Western Siberia for the period from 1985 to 2021. *Geographical Environment and Living Systems*. 2025, no. 1, pp. 41 – 52. [In Russ]. DOI: 10.18384/2712-7621-2025-1-41-52.
13. Dornin I. A. Dynamics of overgrowth of a sand quarry in the Borovsky district. *Sbornik dokladov I Mezhdunarodnoy molodezhnoy konferentsii «Geneticheskie i radiatsionnye tekhnologii v sel'skom khozyaystve»* [Collection of reports of the I International Youth Conference «Genetic and radiation technologies in agriculture»], Obninsk, 2022, pp. 268 – 269. [In Russ].
14. Soromotin A. V., Lanza G. R., Sizov O. S., Lobotosova S. A., Abakumov E. V., Zverev A. O., Yakimov A. S., Konstantinov A. O., Kurasova A. O., Prihod'ko N. V., Salavatulin V. M., Varentsov M. I., Alharbi S. A., Alotaibi Kh. D., Kuzyakov Ya. Cyclic and linear trajectories of ecosystem evolution on sand dunes in Siberian taiga: A comprehensive analysis. *Science of the Total Environment*. 2024, vol. 928, article 172265. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.172265.
15. Talgamer B. L., Murzin N. V., Roslavitseva Yu. G., Semenov M. E. Cutback angles for slope flattening during rehabilitation of degraded landscape due to open pit mining in friable sediments. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 3, pp. 128 – 141. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-3-0-128-141.
16. Rozinkina E. P., Bashegurov K. A., Kotova V. S., Osipenko R. A., Zalesov S. V. Technology of reclamation of disturbed lands on the example of a sand quarry in the West Siberian northern taiga plain forest region. *The Bulletin of Izhevsk state agricultural academy*. 2024, no. 4 (80), pp. 81 – 87. [In Russ]. DOI: 10.48012/1817-5457_2024_4_81-87.
17. Batjargal D., Talgamer B. L., Olzoev B. N., Bolotnev A. Yu. Analysis of the degree of overgrowth of lands disturbed during the extraction of building materials in the steppe zone of Mongolia. *News of the Ural State Mining University*. 2024, no. 1 (73), pp. 114 – 120. [In Russ]. DOI: 10.21440/2307-2091-2024-1-114-120.
18. Zarovnyayev B. N., Shubin G. V., Budikina M. E., Sobakina M. P., Danilov A. A. Estimation of the efficiency of disturbed land reclamation. *21st International Scientific Multidisciplinary Conference on Earth and Planetary Sciences SGEM 2021*. Bulgaria, 2021, pp. 371 – 378. DOI: 10.5593/sgem2021/1.1/s03.050.

19. Chuvilin A. G. Environmental issues of gold mining, transportation, processing and use at the Ozerovskoye ore field of the Karaginsky district. *Bulletin of Kamchatka state technical university*. 2012, no. 21, pp. 78–89. [In Russ].

20. Antoninova N. Yu., Kornilkov S. V., Kuznetsova Ya. A., Shubina L. A. Environmental aspects of reclamation of overburden dumps. *Problems of Subsoil Use*. 2024, no. 1(40), pp. 57–66. [In Russ].

21. Batjargal D., Talgamer B. L., Bolotnev A. Yu., Olzoev B. N. An assessment of self-organized vegetation of lands disturbed by mining operations in the conditions of the steppe zone. *International Research Journal*. 2024, no. 6(144). [In Russ]. URL: <https://research-journal.org/archive/6-144-2024-june/10.60797/IRJ.2024.144.19> (дата обращения: 08.05.2026). DOI: 10.60797/IRJ.2024.144.19.

22. Lichaev V. R., Esenovskaya L. N., Chikin Yu. M. *Rukovodstvo po vyboru i proektirovaniyu sistem vodosnabzheniya, vodootvedeniya i sposobam vodopodgotovki pri razrabotke rossypnykh mestorozhdeniy* [Guide to the selection and design of water supply and wastewater disposal systems and water treatment methods in the development of placer deposits], Irkutsk, 1990, 160 p.

23. Surashov N. T., Tolymbek D. N. Development of complex indicators and evaluation of efficiency for dump-type earthmoving and transport machines. *Vestnik SibADI*. 2022, no. 19(6), pp. 814–827. [In Russ]. DOI: 10.26518/2071-7296-2022-19-6-814-827.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Болотнев Александр Юрьевич¹ — канд. техн. наук, доцент,
e-mail: abolotnev@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-4250-6216,

Нечаев Константин Борисович¹ — канд. техн. наук, доцент,
e-mail: istuproekt@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-6661-4345,

Батжаргал Долгорсурэн¹ — аспирант, e-mail: doogii.do@mail.ru,

Олзоев Борис Николаевич¹ — канд. геогр. наук, доцент,
e-mail: kosmos@istu.edu, ORCID ID: 0000-0001-7105-6341,

¹ Иркутский национальный исследовательский технический университет.

Для контактов: Олзоев Б.Н., e-mail: kosmos@istu.edu.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

A. Yu. Bolotnev¹, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor,
e-mail: abolotnev@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-4250-6216,

K. B. Nechaev¹, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor,
e-mail: istuproekt@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-6661-4345,

D. Batjargal¹, Graduate Student, e-mail: doogii.do@mail.ru,

B. N. Olzoev¹, Cand. Sci. (Geogr.), Associate Professor,
e-mail: kosmos@istu.edu, ORCID ID: 0000-0001-7105-6341,

¹ Irkutsk National Research Technical University, 664074, Irkutsk, Russia.

Corresponding author: B. N. Olzoev, e-mail: kosmos@istu.edu.

Получена редакцией 11.04.2026; получена после рецензии 25.05.2026; принята к печати 10.07.2026.

Received by the editors 11.04.2026; received after the review 25.05.2026; accepted for printing 10.07.2026.

