

ОБОСНОВАНИЕ УГЛОВ ВЫПОЛАЖИВАНИЯ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ ПРИ ПРИРОДООХРАННОЙ РЕКУЛЬТИВАЦИИ КАРЬЕРОВ В РЫХЛЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ

Б.Л. Тальгамер¹, Н.В. Мурзин¹, Ю.Г. Рославцева¹, М.Е. Семенов¹

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

Аннотация: Отмечена значительная доля нарушенных земель, приходящихся на разработку месторождений полезных ископаемых, представленных рыхлыми отложениями. Сделана оценка воздействия горных работ, выполняемых в пределах рыхлых отложений, на земельные ресурсы. Приведены результаты анализа структуры нарушенных земель при разработке россыпей и месторождений стройматериалов. Определено основное направление рекультивации этих земель. Отмечено отсутствие однозначных требований к восстановлению поверхности при природоохранном направлении рекультивации, в т.ч. по степени выполаживания техногенного рельефа. Обоснована необходимость формирования требований к углу выполаживания нарушенной поверхности при рекультивации. Приведена краткая информация об исследуемых объектах рекультивации. Изложены методика полевых исследований и результаты статической обработки проектных материалов по разработке россыпных месторождений. Установлены зависимости объемов работ, расстояний транспортирования, дополнительно нарушаемых площадей и в целом затрат на рекультивацию от принятых углов выполаживания нарушенной поверхности и глубины выработок. Для аналогичных участков техногенного рельефа установлены зависимости интенсивности самозарастания нарушенных земель в условиях Восточной Сибири от уклона поверхности. По результатам сопоставления найденных зависимостей предложен диапазон рекомендуемых углов выполаживания нарушенной поверхности, в т.ч. с учетом глубины выработанного пространства и высоты насыпей.

Ключевые слова: месторождения в рыхлых отложениях, нарушенные земли, природоохранное направление рекультивации, требования к рекультивации, выполаживание поверхности, объемы и стоимость рекультивационных работ, самозарастание поверхности.

Для цитирования: 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.

Cutback angles for slope flattening during rehabilitation of degraded landscape due to open pit mining in friable sediments

B.L. Talgamer¹, N.V. Murzin¹, Yu.G. Roslavl'tseva¹, M.E. Semenov¹

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

Abstract: A vast landscape is degraded due to mineral mining in friable sediments. The impact exerted by mining in friable sediments on the land resources is assessed. The structural analysis of land disturbed by placer mining and by quarries of building materials is performed. The main trend in such land reclamation is identified. There are no well-defined requirements for landscape rehabilitation during environmental reclamation, including flattening of manmade relief. It is necessary to develop standards for cutback angles for slope flattening during rehabilitation of degraded landscape. Brief information on the reclamation objects under study is given. The field test procedure and the outcome of statistical processing of placer mining reports are presented. The work content, haulage distances, collateral disturbed land and rehabilitation costs are related with the cutback angles accepted for slope flattening in degraded landscape, and with the pit depths. For the analogous manmade relief in East Siberia, the dependences of the density of disturbed land self-filling with vegetation and the surface slopes are found. From the comparison of the relations and dependences, the range of cutback angles is proposed for the degraded landscape flattening, including with allowance for pit void depths and dump heights.

Key words: mining in friable sediments, disturbed land, environmental reclamation, reclamation requirement, surface flattening, rehabilitation work content and cost, surface self-filling with vegetation.

For citation: Talgamer B. L., Murzin N. V., Roslavtseva 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;(3):128-141. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-3-0-128-141.

Введение

Большая часть нарушенных промышленностью земель приходится на горнодобывающую отрасль. При этом значительное количество нарушенных земель (в России почти половина) приходится на карьеры, формируемые в пределах рыхлых отложений.

В рыхлых отложениях сосредоточены основные запасы строительных материалов (в т.ч. песок, глина, песчано-гравийные смеси). При разработке рыхлых отложений добывается значительное количество благородных металлов (золото, платина), а также алмазы, ильменит, тантал, касситерит и другие ценные минералы. Добыча полезных ископаемых в рыхлых отложениях наиболее экономична, так как минеральное сырье залегает неглубоко, нет необходимости в предварительном разрушении горных пород, меньше транспортные расходы.

Поэтому карьеры по разработке рыхлых отложений наиболее многочисленны и расположены повсеместно. Наиболее существенные нарушения природной среды возникают именно при открытых горных работах в пределах рыхлых отложений, для организации которых и используется обычно значительная территория, занятая карьерами, отвалами, гидротехническими сооружениями, автомобильными дорогами, обогатительными установками и другими промышленными сооружениями. Большая их часть находится в долинах, где объемы рыхлых отложений наиболее велики.

Вместе с тем долины являются наиболее продуктивными элементами ландшафта, где сосредоточены основные ресурсы плодородного слоя с благоприятной влажностью и близким расположением уровня грунтовых вод. Нарушение таких земель несет не только

экологический, но и экономический ущерб, связанный с изъятием сельскохозяйственных и лесохозяйственных земель. Многие долинные ландшафты тундровой и таежной зон представляют собой наибольшую ценность для природных экосистем, в частности, именно долины рек являются местообитанием многих живых организмов, именно там находят отдых перелетные птицы и пищу копытные во время зимней бескормицы при гололедных явлениях в тундровой зоне [1, 2].

Выполненный нами анализ нарушенных земель при разработке россыпных месторождений и месторождений строительных материалов в Иркутской области показал, что основная часть нарушенных земель представлена карьерными выработками, частично заполненными отвалами (38 – 79%), почти треть составляют внешние отвалы (15 – 43%) и около пятой части — гидротехнические сооружения (3 – 13%), в т.ч. руслоотводы, нагорные каналы, технологические водоемы и отстойники [3].

Учитывая расположение рассматриваемых карьеров на наиболее ценных в хозяйственном отношении землях, последующая рекультивация нарушенных участков является необходимым процессом. Нарушенные земли наносят ущерб окружающей среде в результате изъятия их из природного ландшафта, в течение длительного времени негативное влияние распространяется на прилегающие территории. Большая часть отвалов и карьеров является местом ветровой и водной эрозии в течение многих лет уже после окончания добычных работ. Вместе с тем требования к рекультивации этих земель в имеющейся правовой и нормативной документации (Постановление правительства РФ от 10.07.2018 № 800 [4], ГОСТ 17.5.3.04-83, ГОСТ 17.5.1.02-85) и специальной литературе [5 – 7] не всегда однозначны и не

установлены для всех элементов восстанавливаемого рельефа.

Анализ объектов исследования

С целью обоснования некоторых параметров рекультивации нарушенных земель в процессе разработки рыхлых отложений нами было рассмотрено 20 карьеров на россыпях и месторождениях строительных материалов Восточной Сибири.

Россыпные месторождения разрабатывались для добычи золота. Длина рассмотренных месторождений составляет от 590 до 3300 м, глубина – от 13,5 до 73,6 м, ширина – от 50 до 500 м. Большая часть россыпей располагалась вдоль тальвега небольших рек и ручьев.

Техногенный рельеф речных долин, остающийся после разработки россыпных месторождений, сложен и разнообразен. Его морфологические параметры сопоставимы с параметрами естественных форм рельефа: высотами речных террас, глубиной вреза в их поверхность долин и ручьев.

Нарушенные горными разработками земли представляют собой склоновые поверхности различной формы и ориентировки, увенчанные гребнями или конусами, существенно отличающиеся по ряду своих свойств от естественных.

Полезным ископаемым на анализируемых месторождениях строительных материалов являются песок и песчано-гравийные смеси (ПГС). Площадь карьеров по добыче ПГС и песка составляет от 19 до 268 тыс. м², глубина – от 3,7 до 10,3 м. Все месторождения располагаются в долинах средних рек, большинство – в пределах поймы.

На анализируемых объектах почвенный слой из-за постоянной водной эрозии был незначительным (менее 0,1 м), поэтому при разработке месторождений селективно не снимался и не складировался отдельно. Из возможных направле-

ний рекультивации на рассматриваемых объектах наиболее целесообразным является природоохранное направление с восстановлением небольших водотоков и созданием водоемов. Сельскохозяйственное и лесохозяйственное направление, как правило, не приемлемы из-за периодического затопления этих земель, находящихся в пойме рек. Тогда как естественные условия (в т.ч. рыхлые отложения с достаточным количеством мелкозернистых фракций пород, хорошие увлажненность, теплообеспеченность и освещенность территории) способствуют быстрому восстановлению растительности.

Как отмечается специалистами [8, 9], успех восстановления растительного покрова после рекультивации нарушенных земель в первую очередь зависит от состава пород в поверхностном слое и пригодности последнего для растений. При биологической рекультивации нарушенных горными работами земель часто осуществляют посадку растений, наиболее быстро адаптирующихся к составу пород, слагающих техногенный рельеф [9, 10]. Для карьеров Восточной Сибири чаще всего это облепиха, ива, сосна, лиственница. Однако большего эффекта можно достичь при восстановлении растительного покрова с использованием окружающей рекультивируемый объект растительности, а не специально привезенных саженцев, что значительно упрощает биологический этап рекультивации [11].

Анализ земель, нарушенных горными разработками на россыпях и месторождениях стройматериалов, позволяет также констатировать, что даже при крайней степени их изменения не происходит полного уничтожения природной основы формирования ландшафтов [2]. Поэтому их естественное восстановление после фрагментарной рекультивации происходит достаточно эффективно.

Исследования процесса естественного самозарастания нарушенных земель с целью оценки интенсивности восстановления растительного покрова в зависимости от различных горнотехнических параметров проводились на трех россыпных месторождениях, отработанных более 5 лет назад.

Методы исследований

Для оценки влияния уклона нарушенной поверхности на интенсивность самозарастания были проведены полевые исследования на 3-х ранее разрабатываемых россыпных месторождениях, на участках, нарушенных 8–13 лет назад.

Исследование плотности древесной растительности проводилось на склонах длиной не менее 20 м с западной, северной и восточной экспозицией. Большая часть склонов была привязана к отвалам вскрышных пород и лишь четыре — к выработкам глубиной до 30 м. Так как зарастание склонов начинается в основном снизу, и плотность древесной растительности уменьшается по мере удаления от нижней отметки, исследуемый участок выбирался в средней части склона. Размеры участков принимались от 3×3 м² до 6×6 м². При определении количества деревьев на нарушенной поверхности учитывались экземпляры высотой не менее 1 м с индивидуальной корневой системой.

Исследование зависимостей объемов земляных работ, расстояний транспортирования, себестоимости рекультивации от параметров нарушенной поверхности проводились с использованием данных проектной документации, выполненной с участием авторов, по двадцати объектам, а также с использованием результатов полевых исследований на этих и аналогичных объектах с топографической съемкой техногенного рельефа.

При выборе параметров и технологии рекультивации изменялись предельные углы выполаживания техногенного рельефа с 20 до 28°. Указанный диапазон обуславливается тем, что при уклонах менее 20° естественное самозарастание поверхности существенно не меняется, а при уклонах более 28° наблюдается резкое ухудшение процесса закрепления растительности [9].

По рекомендациям специалистов угол выполаживания откосов отвалов и бортов выработок может составлять до 35° [12, 13]. При рекультивации с террасированием угол откосов террас может приниматься даже равным углу естественного откоса пород [14, 15]. Однако большинство специалистов рекомендует выполаживание осуществлять с углом не более 28° [16, 17] или с уклоном 1:2 [18, 19], что соответствует углу 27°.

Нарушенный рельеф поверхности при разработке россыпей представляет собой террасированный профиль (рис. 1) с общим уклоном 12–20°, с углами откосов на отдельных участках до 45°. Выполаживание участков с крутыми склонами до угла 28° не приведет к увеличению результирующего (общего) уклона рекультивируемой поверхности, который по рекомендации специалистов следует принимать в пределах 15–20° [18].

В связи с тем, что объемы и затраты на рекультивацию в первую очередь обусловлены глубиной выработок, для более детального анализа влияния угла выполаживания техногенного рельефа на стоимость восстановительных работ было выбрано шесть объектов с различной средней глубиной выработок (от 13,5 до 73,6 м). По каждому из объектов через 50 м отстраивались поперечные сечения техногенной поверхности и устанавливались параметры рекультивации с максимальными углами выполаживания 20, 23, 25 и 28°. По каж-

дому сечению определялись объемы рекультивации (м³/м) и средняя длина транспортирования пород в процессе выемки и укладки. На рис. 1 приведены примеры схем рекультивации техногенного рельефа с разными углами выполаживания.

После вычисления объемов работ и расстояний транспортирования по каждому сечению рассчитывались средние значения по всему объекту.

По результатам визуальных наблюдений на нарушенных землях было установлено, что достаточно успешно зарастают травяной и древесной растительностью небольшие (в основном до 5 м) откосы рыхлых отложений с уклоном 30–37°. Поэтому в проектах рекультивации небольшие насыпи в объемах работ по восстановлению поверхности не включены.

Результаты исследований

В результате сопоставления проектных решений по формированию техногенного рельефа в процессе разработки месторождений с фактически нарушенной поверхностью было установлено, что в целом площади, используемые для разработки россыпных месторождений, оказались на 5–10% больше или меньше проектных значений, а степень расчлененности поверхности (разница между отметками гребней отвалов и дном выработок) фактически везде на 10–20% была ниже планируемых значений. Первое различие объясняется в основном имеющими место отступлениями от проектных решений, в т.ч. из-за неподтверждения запасов и замены выемочного оборудования. Снижение расчлененности техногенного рельефа было вызвано увеличением объемов внутреннего отвалообразования (в т.ч. за счет складирования в выработки хвостов обогащения), строительством в карьерах временных водоподпорных сооружений,

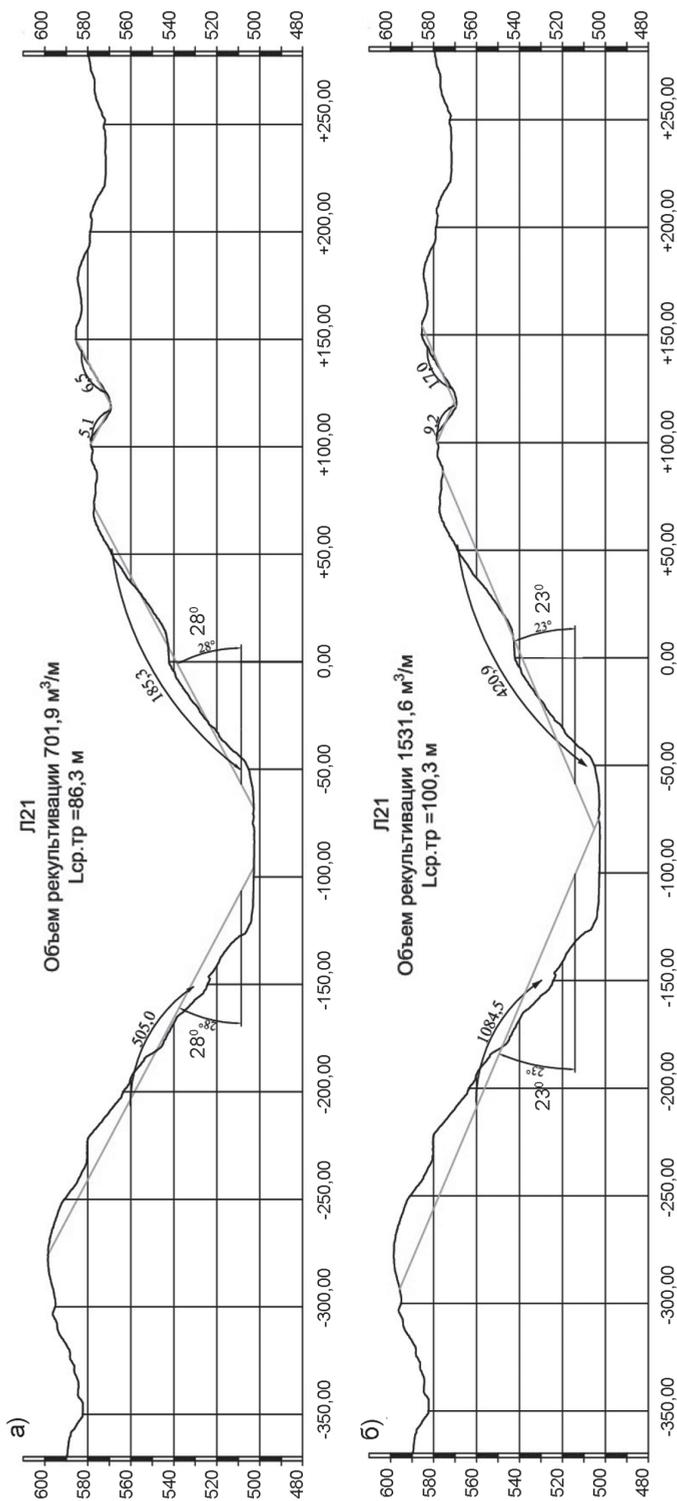


Рис. 1. Схемы рекультивации нарушенных земель по линии Л21 с разными углами выглаживания: $\alpha = 28^\circ$ (а); $\alpha = 23^\circ$ (б)
 Fig. 1. Disturbed land rehabilitation charts along line L21 at different flattening-aimed cutback angles: $\alpha = 28^\circ$ (a); $\alpha = 23^\circ$ (b)

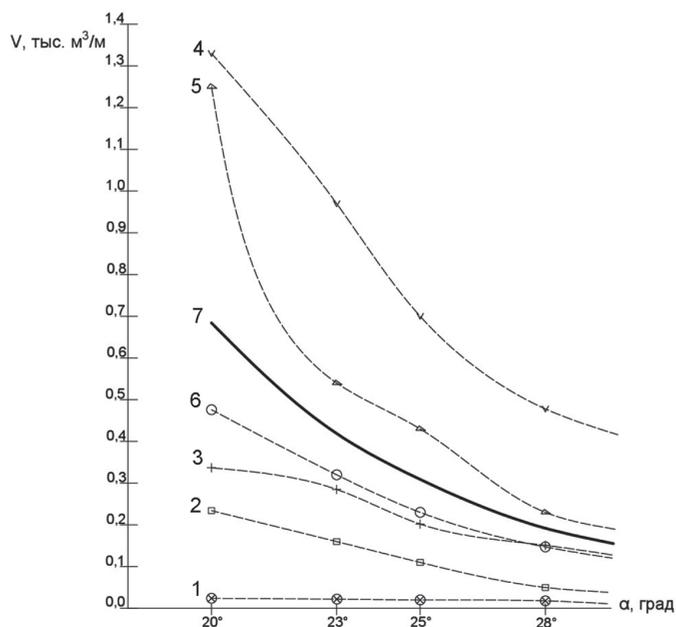


Рис. 2. Зависимость объемов, V , тыс./м³/м, рекультивационных работ от угла вылоаживания нарушенных земель для объектов с разной средней глубиной выработок: 1 – 13,5 м; 2 – 27,4 м; 3 – 32,3 м; 4 – 73,6 м; 5 – 54,5 м; 6 – 45,8 м; 7 – среднее значение

Fig. 2. Rehabilitation work content V , thou³/m, versus cutback angle of degraded landscape flattening for open pit mines of different average depth: 1 – 13,5 m; 2 – 27,4 m; 3 – 32,3 m; 4 – 73,6 m; 5 – 54,5 m; 6 – 45,8 m; 7 – average value

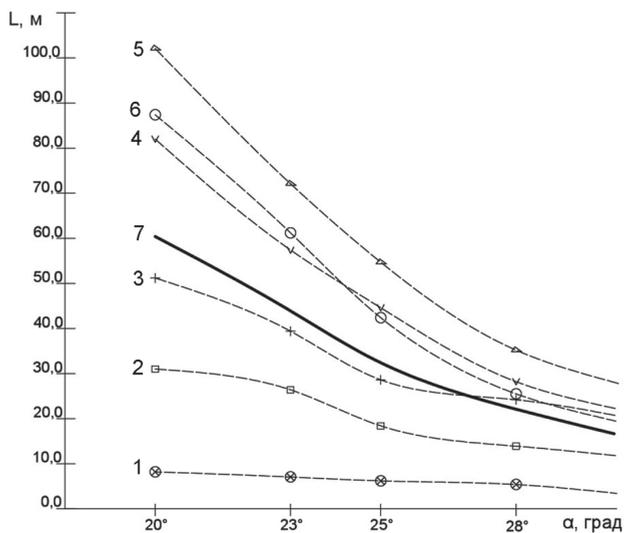


Рис. 3. Зависимость среднего расстояния транспортирования, L , от угла вылоаживания нарушенных земель для объектов с разной средней глубиной выработок: 1 – 13,5 м; 2 – 27,4 м; 3 – 32,3 м; 4 – 73,6 м; 5 – 54,5 м; 6 – 45,8 м; 7 – среднее значение

Fig. 3. Average haulage distance L versus cutback angle of degraded landscape flattening for open pit mines of different average depth: 1 – 13,5 m; 2 – 27,4 m; 3 – 32,3 m; 4 – 73,6 m; 5 – 54,5 m; 6 – 45,8 m; 7 – average value

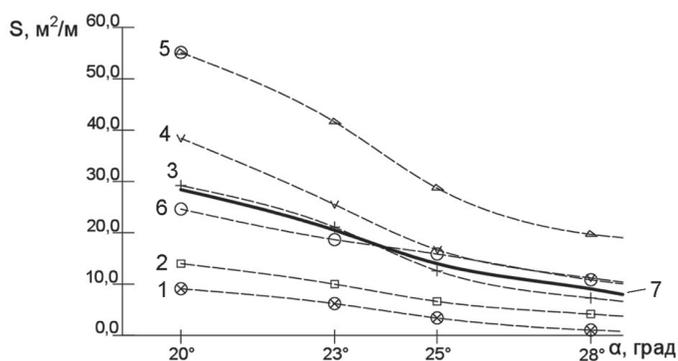


Рис. 4. Зависимость площадей дополнительно нарушаемых земель в процессе рекультивации от угла выполаживания нарушенных земель для объектов с разной средней глубиной выработок: 1 – 13,5 м; 2 – 27,4 м; 3 – 32,3 м; 4 – 73,6 м; 5 – 54,5 м; 6 – 45,8 м; 7 – среднее значение

Fig. 4. Collateral disturbed land during rehabilitation versus cutback angle of degraded landscape flattening for open pit mines of different average depth: 1 – 13,5 m; 2 – 27,4 m; 3 – 32,3 m; 4 – 73,6 m; 5 – 54,5 m; 6 – 45,8 m; 7 – average value

а также естественным выполаживанием бортов карьеров и откосов отвалов с частичной засыпкой выработанного пространства в процессе водной и ветровой эрозии.

Результаты расчетов зависимости объемов рекультивационных работ от угла выполаживания нарушенного рельефа для шести объектов по разработке россыпных месторождений приведены

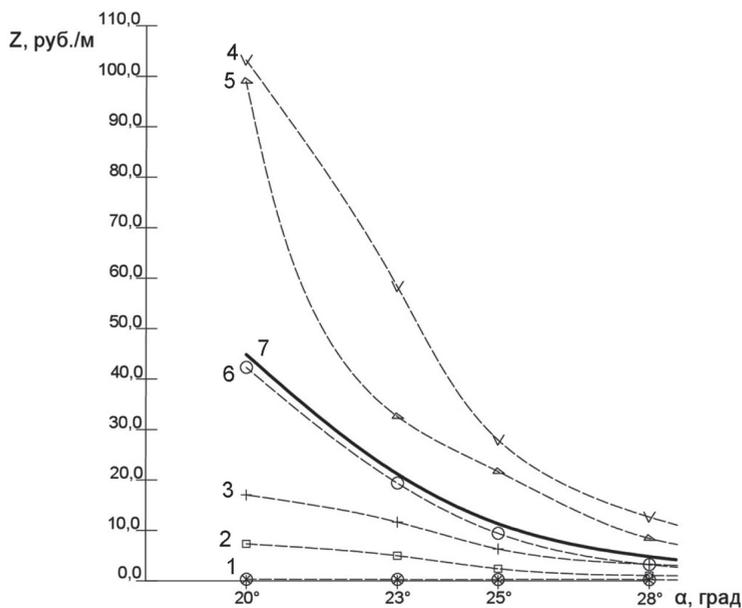


Рис. 5. Зависимость стоимости рекультивационных работ одного погонного метра, Z, руб./м, от угла выполаживания нарушенных земель для объектов с разной средней глубиной выработок: 1 – 13,5 м; 2 – 27,4 м; 3 – 32,3 м; 4 – 73,6 м; 5 – 54,5 м; 6 – 45,8 м; 7 – среднее значение

Fig. 5. Rehabilitation work cost Z, Rub/m, versus cutback angle of degraded landscape flattening for open pit mines of different average depth: 1 – 13,5 m; 2 – 27,4 m; 3 – 32,3 m; 4 – 73,6 m; 5 – 54,5 m; 6 – 45,8 m; 7 – average value

на рис. 2. На рис. 3 приведены зависимости средних расстояний транспортирования пород, $L_{\text{ср.тр}}$, от угла выполаживания. На рис. 4 представлены зависимости площадей дополнительно нарушаемых земель в процессе рекультивации от угла выполаживания. На рис. 5 приведена зависимость стоимости рекультивационных работ на один погонный метр, Z , руб./м, от угла выполаживания. На рис. 6 приведены стоимости рекультивации, $З$, руб./м, с учетом затрат на компенсацию дополнительно нарушенных земель для объектов глубиной: 1 — $10 \div 30$ м; 2 — $30 \div 50$ м; 3 — $50 \div 75$ м.

В связи с небольшой глубиной карьеров по добыче ПГС и песка (в среднем 7,3 м), а также низким коэффициентом вскрыши, объемы пустых пород оказались незначительными и даже при полном их использовании для заполнения выработанного пространства существен-

ного роста затрат на рекультивацию при уменьшении угла выполаживания не отмечено. Установленная зависимость параметров рекультивации карьеров по добыче ПГС и песка от угла выполаживания была менее выражена, чем аналогичные для россыпей со средней глубиной 13,5 м, поэтому графически не отображалась.

Анализ результатов вычислений показывает, что наиболее актуально увеличение углов выполаживания для объектов с глубиной выработок более 40 м. Для менее глубоких карьеров предельный угол выполаживания может приниматься $23 - 25^\circ$, для глубоких карьеров угол целесообразно увеличивать до $26 - 28^\circ$, что позволит уменьшить затраты на рекультивацию в 2–3 раза и сократить (и даже исключить) нарушение прилегающих к техногенному рельефу земель.

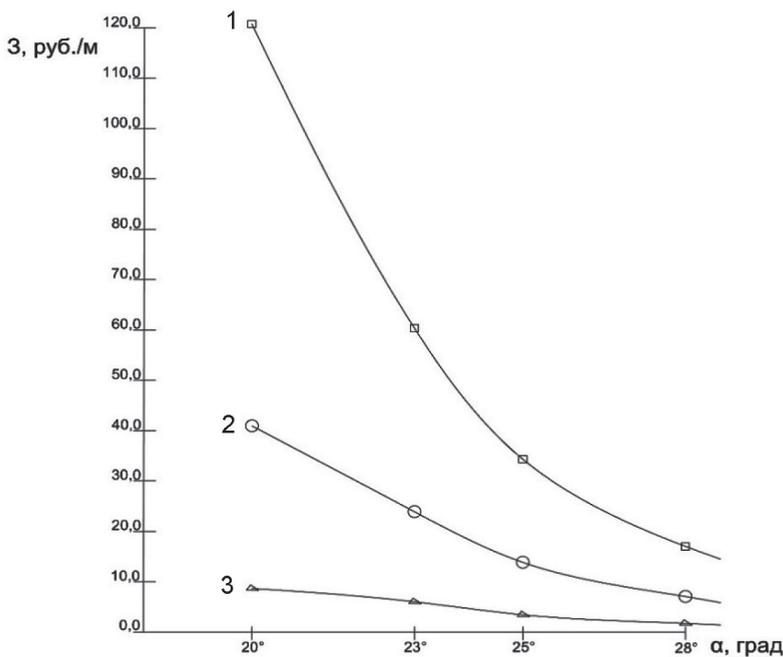


Рис. 6. Зависимость стоимости рекультивации, $З$, руб./м, с учетом затрат на компенсацию дополнительно нарушенных земель для объектов глубиной: 1 — $10 \div 30$ м; 2 — $30 \div 50$ м; 3 — $50 \div 75$ м

Fig. 6. Rehabilitation work cost S , Rub/m, with regard to cost of collateral disturbed land balance for open pits having depths: 1 — $10 \div 30$ м; 2 — $30 \div 50$ м; 3 — $50 \div 75$ м

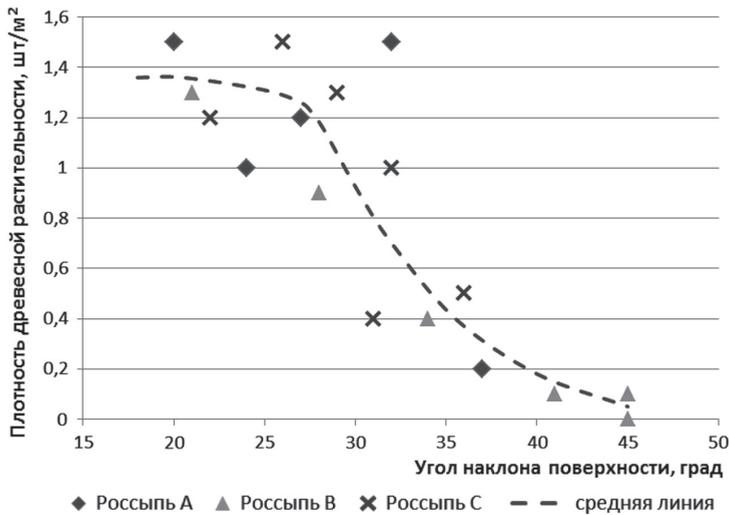


Рис. 7. Зависимость плотности древесной растительности от уклона нарушенной поверхности (спустя 8–13 лет после завершения горных работ на россыпных месторождениях Восточной Сибири)
 Fig. 7. Density of woody vegetation versus disturbed surface slope (8–13 years after completion of placer mining in East Siberia)

Вместе с тем известно, что с увеличением уклона поверхности снижается интенсивность ее самозарастания [9, 18]. На рис. 7 приведена установленная нами зависимость плотности древесной растительности от уклона нарушенной 6–13 лет назад поверхности для условий Восточной Сибири.

По результатам исследований установлено, что с увеличением уклона с 20° до 30° в среднем плотность древесной растительности снижается в 1,5 раза, а с 30° до 40° уже в 10 раз. То есть существенного снижения интенсивности самозарастания с увеличением угла откосов с 20° до 30° не происходит.



Рис. 8. Зарастание вскрышных отвалов с естественным углом откоса
 Fig. 8. Self-filling of natural slope waste rock dumps with vegetation

Вместе с тем в ряде случаев даже на участках с уклоном, близким к максимальному естественному ($37 - 45^\circ$), самозарастание идет довольно успешно (рис. 8), особенно в тех случаях, когда длина склона и высота уступа (отвала) незначительны [20, 21].

В целом следует отметить, что самозарастание земель, нарушенных в пределах рыхлых отложений, идет достаточно успешно, особенно в поймах рек [22, 23]. Для условий Восточной Сибири это объясняется тем, что температура корнеобитаемого слоя на техногенных землях на $3 - 7^\circ$ выше, чем на естественных, что в ряде случаев приводит к превышению (иногда в полтора раза) продуктивности растительного покрова, формирующегося на отвалах отработанных россыпей, по сравнению с продуктивностью исходной естественной растительности.

Естественное восстановление растительного покрова на отвалах зависит от ряда факторов, основными из которых являются: содержание мелкозема в верхнем слое (до 20 см) отвального субстрата, пропорциональное соотношение высоты и площадного размера отвала, наличие и близость естественных осеменителей [24].

В процессе исследований также было установлено, что на первом этапе самозарастания на поверхности лучше закрепляются листовые деревья (береза, ольха, осина). Спустя 6–8 лет появляется поросль лиственницы и сосны.

Анализ результатов исследований показывает, что резкое снижение интенсивности самозарастания начинается при уклонах более $30 - 33^\circ$. С увеличением уклонов с 20 до 30° снижение плотности древесной растительности идет более плавно, поэтому максимальный угол выполаживания техногенной поверхности в условиях Восточной Сибири может обосновываться в пределах $28 - 30^\circ$.

Результаты исследований были использованы в девяти проектах рекультивации, которые прошли экспертизы и согласования, в т.ч. в региональных министерствах лесного хозяйства, и в настоящее время по ним осуществляются работы по восстановлению нарушенной поверхности после эксплуатации россыпей и месторождений ПГС.

В других природно-климатических условиях рекомендуемый угол выполаживания нарушенной поверхности при природоохранном направлении рекультивации может быть несколько иным. В регионах с более мягким и влажным климатом предельный угол выполаживания может достигать $32 - 35^\circ$. При мягком влажном климате, в т.ч. в Европе, выполаживание склонов отвалов из четвертичных отложений может быть вообще не целесообразно [21].

Выводы

1. Обоснование углов выполаживания нарушенной поверхности при рекультивации природоохранного направления наиболее актуально для уклонов в диапазоне от 20 до 30° , так как для меньших значений процесс самозарастания рыхлых отложений идет достаточно интенсивно, а при больших уклонах резко ухудшается.

2. Обоснование углов выполаживания более важно на нарушенных землях глубинного и высотного расчленения, особенно при наличии выработок глубиной более 40 м.

3. При наличии на нарушенной поверхности небольших насыпей высотой до 2–3 м выполаживание может не проводиться, так как к существенному ускорению самозарастания это не приводит.

4. Для условий Восточной Сибири максимальный угол выполаживания при природоохранном направлении рекультивации рекомендуется принимать не более $28 - 30^\circ$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. Попов В. Ф., Толстихин О. Н. Экология: учебное пособие. — Якутск: Изд-во БГУЭП, 2013. — 308 с.
3. *Talgamer B. L., Semenov M. E.* The increase of the ecological purity during mining in the rivers/floodplains / *Geospatial Technologies and Earth Resources (GTER 2017)*. 2017. Pp. 515–519.
4. Постановление Правительства РФ от 10.07.2018 № 800 «О проведении рекультивации и консервации земель» (вместе с «Правилами проведения рекультивации и консервации земель».
5. *Нормы* технологического проектирования горнотехнической рекультивации земель, нарушенных горными работами в составе проектов россыпной золотодобычи дражным и открытым способами. — Иркутск, 1989. — 312 с.
6. *Методические указания* по составлению проектов рекультивации отработанных нарушенных земель и землевание малопродуктивных угодий (проект). Ч. 1 и 2 — Мытищи: ГИЗР, 1989. — 241 с.
7. *Галанина Т. В., Баумгартэн М. И., Королева Т. Г.* Правовые аспекты регулирования рекультивации земель, нарушенных при добыче угля // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 6. — С. 15–26. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-6-0-139-141.
8. *Garris W. H., Baldwin S. A., Van Hamme J. D., Gardner W., Fraser L. H.* Genomics to assist mine reclamation. A review // *Restoration Ecology*. 2016. Vol. 24. No 2. DOI: 10.1111/rec.12322.
9. *Чемезов В. В., Коврыжников В. Л.* Землепользование и рекультивация нарушенных земель при разработке месторождений золота и алмазов. Пособие по разработке проектов рекультивации нарушенных земель. — Иркутск: Изд-во ОАО «Иргиредмет», 2007. — 330 с.
10. *Barton C. D., Sena K., Dolan T., Angel P., Zipper C.* Restoring forests on surface coal mines in Appalachia: a regional reforestation approach with global application / *Spoil to Soil: Mine Site Rehabilitation and Revegetation*. CRC Press, 2017. 391 p. DOI: 10.1201/9781351247337-12.
11. *Ngugi M. R., Neldner V. J., Doley D., Kusy B., Moore D., Richter C.* Soil moisture dynamics and restoration of self-sustaining native vegetation ecosystem on an open-cut coal mine // *Restoration Ecology*. 2015. Vol. 23. No 5. Pp. 615–624. DOI: 10.1111/rec.12221.
12. *Горнов В. Д.* Рекультивация земель на карьерах. — М.: Недра, 1981. — 260 с.
13. *Проценко М. М., Попов В. Г.* Патент № 1330312 E21C 41/02. Способ рекультивации откосов отвалов. Бюл. № 30, публ. 15.08.87.
14. *Харионовский А. А., Франк Е. Я.* Обоснование технологии горнотехнической рекультивации в целях лесовосстановления на Крутокачинском щебеночном карьере // Уголь. — 2018. — № 4. — С. 75–77.
15. *Зеньков И. В., Барадулин И. М.* Обоснование горнотехнической рекультивации карьеров по добыче нерудных материалов для производства щебня // Уголь. — 2018. — № 2. — С. 96–99.
16. *Дороненко Е. П.* Рекультивация земель нарушенных открытыми разработками. — М.: Недра, 1979. — 263 с.
17. Пособие к СНИП 11-01-95 по разработке раздела проектной документации «Охрана окружающей среды» / ЦЕНТРИНВЕСТпроект. — М.: Госстрой России, 2000. — 235 с.
18. *Томаков П. И., Коваленко В. С., Михайлов А. М. и др.* Экология и охрана природы при открытых горных работах. — М.: Изд-во МГИ, 1994. — 418 с.
19. *Эскин В. С.* Рекультивация земель нарушенных открытыми разработками. — М.: Недра, 1975. — 184 с.
20. *Соколова Н. А., Госсен И. Н., Соколов Д. А.* Оценка пригодности вегетационных индексов для выявления почвенно-экологического состояния поверхности отвалов ант-

рацитовых месторождений // Экология и промышленность России. — 2020. — № 1. — С. 62–69.

21. Esser G., Janz S., Walther H. Promoting biodiversity in recultivating the rhenish lignite-mining area // *World of Mining-Surface and Underground*. 2017. Vol 69. No 6. Pp. 327–334.

22. Talgamer B. L., Murzin N. V., Batzhargal D. Justification of reclamation parameters for lands disturbed during the development of gold placers // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. Vol 408. DOI: 10.1088/1755-1315/408/1/012058.

23. Hendrycova M. Reclamation success in post-mining landscapes in the Czech Republic: a review of pedological and biological studies // *Journal of Landscape Studies*. 2008. No 1. Pp. 63–78.

24. Доронькин В. М., Сафронова О. С., Ламанова Т. Г., Шеремет Н. В. Результаты исследования естественного восстановления растительного покрова на вскрышных отвалах, возникших в 2000-е годы в Республике Хакасия // *Уголь*. — 2019. — № 11. — С. 94–97. 

REFERENCES

1. Chuvilin A. G. Environmental problems of the extraction, transportation, processing and use of gold in the Ozernovsky ore field of the Karaginsky district. *Bulletin of Kamchatka State Technical University*. 2012, no 21, pp. 78–89. [In Russ].

2. Popov V. F., Tolstikhin O. N. *Ekologiya: uchebnoe posobie* [Ecology: Educational aid], Yakutsk, Izd-vo BGUEP, 2013, 308 p.

3. Talgamer B. L., Semenov M. E. The increase of the ecological purity during mining in the rivers/floodplains. *Geospatial Technologies and Earth Resources (GTER 2017)*. 2017. Pp. 515–519.

4. *Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 10.07.2018 № 800 «O provedenii rekul'tivatsii i konservatsii zemel'»* (vmeste s «Pravilami provedeniya rekul'tivatsii i konservatsii zemel'») [Decree of the Government of the Russian Federation of 10.07.2018 No 800 «On the implementation of recultivation and conservation of land» (together with the «Rules for the restoration and conservation of land»)]. [In Russ].

5. *Normy tekhnologicheskogo proektirovaniya gornotekhnicheskoy rekul'tivatsii zemel', narushennykh gornymi rabotami v sostave proektov rossypnoy zolotodobychi drazhnyim i otkrytym sposobami* [Norms for the technological design of mining and land reclamation of land disturbed by mining as the part of alluvial and open-cut gold mining projects], Irkutsk, 1989, 312 p. [In Russ].

6. *Metodicheskie ukazaniya po sostavleniyu proektov rekul'tivatsii otrabotannykh narushennykh zemel' i zemlevanie maloproduktivnykh ugodiy (proekt). Ch. 1, 2* [Methodological guidelines for the preparation of projects for the restoration of cultivated disturbed lands and the lodging of unproductive land (draft). Part 1, 2], Mytishchi, GIZR, 1989, 241 p. [In Russ].

7. Galanina T. V., Baumgarten M. I., Koroleva T. G. Coal mining-disturbed land reclamation laws. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020, no 6, pp. 15–26. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-6-0-139-141.

8. Garris W. H., Baldwin S. A., Van Hamme J. D., Gardner W., Fraser L. H. Genomics to assist mine reclamation. A review. *Restoration Ecology*. 2016. Vol. 24. No 2. DOI: 10.1111/rec.12322.

9. Chemezov V. V., Kovryzhnikov V. L. *Zemlepol'zovanie i rekul'tivatsiya narushennykh zemel' pri razrabotke mestorozhdeniy zolota i almazov. Posobie po razrabotke proektov rekul'tivatsii narushennykh zemel'* [Land use and reclamation of disturbed lands during the development of gold and diamond deposits. Manual on the development of land reclamation projects], Irkutsk, Izd-vo OAO «Irgiredmet», 2007, 330 p.

10. Barton C. D., Sena K., Dolan T., Angel P., Zipper C. Restoring forests on surface coal mines in Appalachia: a regional reforestation approach with global application. *Spoil to Soil: Mine Site Rehabilitation and Revegetation*. CRC Press, 2017. 391 p. DOI: 10.1201/9781351247337-12.

11. Ngugi M. R., Neldner V. J., Doley D., Kusy B., Moore D., Richter C. Soil moisture dynamics and restoration of self-sustaining native vegetation ecosystem on an open-cut coal mine. *Restoration Ecology*. 2015. Vol. 23. No 5. Pp. 615–624. DOI: 10.1111/rec.12221.

12. Gornov V. D. *Rekul'tivatsiya zemel' na kar'erakh* [Land reclamation in quarries], Moscow, Nedra, 1981, 260 p.
13. Protsenko M. M., Popov V. G. *Patent RU 1330312 E21S 41/02*. 15.08.87.
14. Kharionovsky A. A., Frank E. Ya. The rationale for the technology of mining engineering reclamation for reforestation at the Krutokachinsky gravel quarry. *Ugol'*. 2018, no 4, pp. 75–77. [In Russ].
15. Zenkov I. V., Baradulin I. M. The rationale for mining reclamation of quarries for the extraction of non-metallic materials for the production of crushed stone. *Ugol'*. 2018, no 2, pp. 96–99. [In Russ].
16. Doronenko E. P. *Rekul'tivatsiya zemel' narushennykh otkrytymi razrabotkami* [Land reclamation disturbed by open pit mining], Moscow, Nedra, 1979, 263 p.
17. *Posobie k SNIP 11-01-95 po razrabotke razdela proektnoy dokumentatsii «Okhrana okruzhayushchey sredy»* [Guide to SNIP 11-01-95 on the development of the section of project documentation «Environmental Protection»], Moscow, Gosstroy Rossii, 2000, 235 p. [In Russ].
18. Tomakov P. I., Kovalenko V. S., Mikhaylov A. M. *Ekologiya i okhrana prirody pri otkrytykh gornykh rabotakh* [Ecology and nature conservation during open pit mining], Moscow, Izd-vo MGI, 1994, 418 p.
19. Eskin V. S. *Rekul'tivatsiya zemel' narushennykh otkrytymi razrabotkami* [Land reclamation disturbed by open pit mining], Moscow, Nedra, 1975, 184 p.
20. Sokolova N. A., Gossen I. N., Sokolov D. A. Assessment of the suitability of vegetation indices for revealing the soil-ecological state of the surface of dumps of anthracite deposits. *Ecology and Industry of Russia*. 2020, no 1, pp. 62–69. [In Russ].
21. Esser G., Janz S., Walther H. Promoting biodiversity in reactivating the rhenish lignite-mining area. *World of Mining-Surface and Underground*. 2017. Vol 69. No 6. Pp. 327–334.
22. Talgamer B. L., Murzin N. V., Batzhargal D. Justification of reclamation parameters for lands disturbed during the development of gold placers. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. Vol 408. DOI: 10.1088/1755-1315/408/1/012058.
23. Hendrycova M. Reclamation success in post-mining landscapes in the Czech Republic: a review of pedological and biological studies. *Journal of Landscape Studies*. 2008. No 1. Pp. 63–78.
24. Doronkin V. M., Safronova O. S., Lamanova T. G., Sheremet N. V. The results of the study of the natural restoration of vegetation on overburden dumps that arose in the Republic of Khakassia in the 2000s. *Ugol'*. 2019, no 11, pp. 94–97. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Тальгамер Борис Леонидович¹ – д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой, e-mail: go_gor@istu.edu,

Мурзин Николай Владимирович¹ – младший научный сотрудник, e-mail: murzinnv@istu.edu,

Рославцева Юлия Геннадьевна¹ – канд. техн. наук, доцент, e-mail: ryg@istu.edu,

Семенов Максим Евгеньевич¹ – научный сотрудник, e-mail: msemenov@istu.edu,

¹ Иркутский национальный исследовательский технический университет.

Для контактов: Рославцева Ю.Г., e-mail: ryg@istu.edu.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

B.L. Talgamer¹, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of Chair, e-mail: go_gor@istu.edu,

N.V. Murzin¹, Junior Researcher, e-mail: murzinnv@istu.edu,

Yu.G. Roslavl'tseva¹, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor, e-mail: ryg@istu.edu,

M.E. Semenov¹, Researcher, e-mail: msemenov@istu.edu,

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

Corresponding author: Yu.G. Roslavl'tseva, e-mail: ryg@istu.edu.

Получена редакцией 03.07.2020; получена после рецензии 20.08.2020; принята к печати 10.02.2021.

Received by the editors 03.07.2020; received after the review 20.08.2020; accepted for printing 10.02.2021.