

УДК 622.85:622.271.45:550.814

Зеньков Игорь Владимирович, профессор, д.т.н.  
(ИВТ СО РАН, СКТБ «Наука», Красноярск)  
Zenkov Igor, professor, doctor of engineering sciences  
(ICT SB RAS, Krasnoyarsk branch SDTB «Nauka», Krasnoyarsk)  
Барадулин Илья Михайлович, аспирант (СФУ, Красноярск)  
Baradulin Ilya (SFU, Krasnoyarsk)

## **ТЕХНОЛОГИИ ГОРНОТЕХНИЧЕСКОЙ РЕКУЛЬТВАЦИИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ЩЕБЕНОЧНЫХ КАРЬЕРОВ**

### **TECHNOLOGY MINING REKULTIVATSII IN THE DEVELOPMENT OF CRUSHED STONE QUARRIES**

Аннотация. В статье приводятся результаты полевых экспедиций по исследованию условий формирования и показателей лесной экосистемы на нерабочих площадках отработанных карьеров по производству щебня. Представлено эколого-экономическое обоснование технологии рекультивации нерабочих бортов щебеночных карьеров с использованием гидравлических экскаваторов типа «обратная лопата».

Abstract. The article presents the results of field expeditions to study the formation conditions and indicators for forest ecosystems outside the sites of waste quarries for crushed stone production. Presents an ecological-economic substantiation of the technology of reclamation outside the sides of gravel pits using hydraulic excavator type «backhoe».

В центральных и южных районах Красноярского края расположены девять действующих или отработанных карьеров по производству щебня на месторождениях гранита, доломитов и известняка. Все щебеночные карьеры приурочены к конкретным местам потребления производимого щебня. Значительные объемы гранитного щебня потреблялись при строительстве Красноярской ГЭС (1960-1970 гг.). При строительстве грузового логистического терминала «Красноярск-Восточный» (1981-1990 гг.) было разработано и перемещено 8,0 млн. м<sup>3</sup> известняков, уложенных в тело насыпи под железнодорожное полотно, доломитизированных известняков - при строительстве автомобильной дороги Красноярск-Иркутск и т.д. В местах производства горных работ на этих месторождениях появляются горнопромышленные ландшафты – отработанные карьерные выработки.

С целью установления тенденций формирования растительной экосистемы в отработанных карьерах, что, по нашему мнению, должно явиться основой для обоснования порядка разработки месторождений и технологий

рекультивации нерабочих бортов карьеров были проведены полевые экспедиции, дешифрованы и обработаны соответствующие снимки из космоса с представлением полученных результатов. Кроме того, в ходе выполнения научно-исследовательской работы обоснована геометрическая форма щебеночного карьера, поставленного в нерабочее положение с максимальным учетом экологических целей. Горизонтальная проекция карьерной выработки, рекомендованная для реализации в открытых горных работах при разработке месторождений общераспространенных полезных ископаемых, представлена на рис. 1.

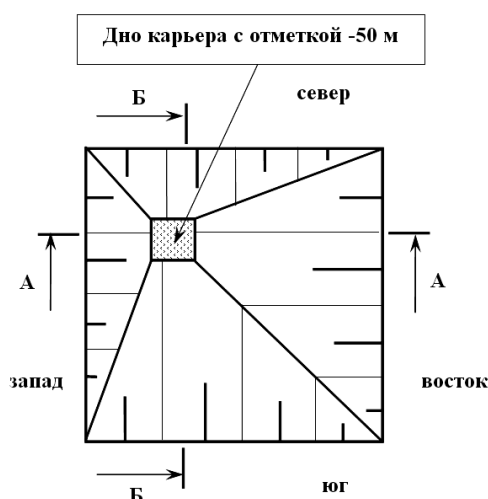


Рис. 1. Горизонтальная проекция нерабочих бортов щебеночного карьера, отработанного с учетом экологических целей

В горно-экологическом моделировании приняты следующие геометрические параметры: глубина карьера 50 м, размеры карьера по верху 500×500 м, углы откосов уступов в нерабочем положении  $65^{\circ}$ , высота уступов 4 м, размеры дна карьера 50×50 м. Ширина всех межступенных площадок нерабочего борта принята равной 5 м (левый на сечении нерабочий борт карьера, рис. 2). При такой конструкции и параметрах левого борта ширина межступенных нерабочих площадок правого нерабочего борта карьера составит 29 м.



Рис. 2. Вертикальное сечение карьера в меридиональном и широтном направлениях

В ходе проведения полевых экспедиций было отмечено весьма позитивное обстоятельство – геологическое строение всех без исключения месторождений гранитов, известняков, доломитов включает верхний покрывающий чехол, состоящий из плодородного слоя почвы, потенциально плодородных почвенных слоев и пород четвертичного периода: глины, суглинки, супеси и др. Суммарная мощность этих слоев находится в диапазоне 2-20 м. Схематично расположение четвертичных отложений показано штриховкой на рис. 2 в границах верхнего вскрышного уступа щебеночного карьера.

В ходе полевых экспедиций были обследованы горизонтальные/наклонные площадки нерабочих бортов, покрытые продуктивным слоем, представленным смесью четвертичных пород и почвенных слоев. Установлено, что последние нанесены случайным образом либо в ходе работы горных механизмов, либо в результате намыва с верхнего вскрышного уступа. Также было обращено внимание на то, что по высоте нерабочих бортов плотность произрастания взрослых деревьев и темпы их прироста сильно разнятся. Установлено, что прирост сосны зависит от мощности находящегося на площадках продуктивного слоя (рис. 3).

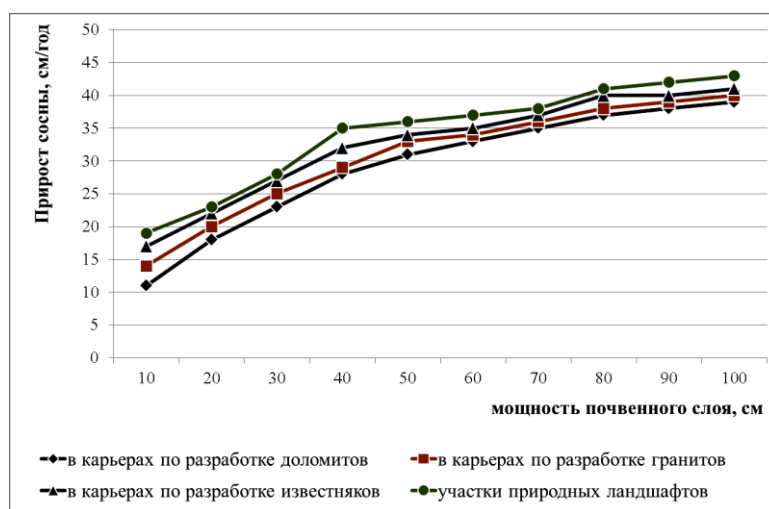


Рис. 3. Изменение прироста сосны на межступенных площадках в отработанных щебеночных карьерах

Анализ трендов в изменении прироста сосны показывает, что при изменении мощности продуктивного слоя в диапазоне с 0,1 до 0,4 м, наблюдается прямо пропорциональное изменение темпов прироста в среднем 15 и 32 см в год соответственно для нижней и верхней границы диапазона. И это не случайно – на участках с более мощным продуктивным слоем хорошо развивается четвертый (нижний) ярус растительности, который снабжает корневые системы сосны гуминовыми и фульвокислотами. Отметим, что начиная с мощности 0,4 м темпы прироста сосны значительно

снижаются. Последнее обстоятельство явилось основой для обоснования мощности наносимого продуктивного слоя при его нанесении на межступенные площадки в ходе рекультивации. В ходе проведения полевых экспедиций была также установлена плотность произрастания деревьев на межступенных площадках в отработанных карьерах (таблица 1).

Таблица 1

Плотность произрастания деревьев на межступенных площадках  
нерабочих бортов щебеночных карьеров, ед./ед. площади

Карьер	Диапазоны высоты нерабочего борта, м				
	0-10	10,1-20	20,1-30	30,1-40	40,1-50
Красноярская ГЭС	16	14	10	5	3
Кускун-Автодор	12	6	2	-	-
Карьер № 1 РЖД, Зыково	22	6	2	1	-
Карьер № 2 РЖД, Зыково	24	6	2	2	-
ЗАТО, г. Зеленогорск	11	7	3	1	0

Анализ показателей в табл. 1 говорит о том, что плотность взрослых деревьев в несколько раз выше на межступенных площадках в верхней части карьера, чем в нижней, что объясняется наличием/отсутствием на последних продуктивного слоя. Результаты комплексного анализа полевых исследований положены в основу формирования продуктивного (рекультивационного) слоя, состоящего из смеси четвертичных отложений с почвенными слоями, для нанесения первого на межступенные площадки нерабочего борта карьера при его рекультивации.

Далее рассмотрены три альтернативных варианта (технологии) проведения горнотехнического этапа рекультивации нерабочих бортов щебеночного карьера. По первому варианту (классические применяемые технологии) в структуру комплексной механизации входят два бульдозера Т-170, один гидравлический экскаватор типа «обратная лопата» с ковшом емкостью 1,5-2,0 м<sup>3</sup>, два автосамосвала грузоподъемностью 18-20 т. В этих технологиях предусмотрено использование автомобильного транспорта на доставке рекультивационного слоя на межступенные площадки нерабочего борта карьера с последующим разравниванием этого слоя бульдозером. При одновременной установке бульдозера с автосамосвалом ширина рабочей площадки, на которой будет производиться разгрузка автосамосвалов составит не менее 10 м исходя из безопасных условий ведения горных работ. В этой технологии гидравлический экскаватор задействован на выемке и погрузке почвенных слоев и четвертичных отложений в автосамосвалы, два бульдозера работают на зачистке подошвы экскаваторного забоя и на разравнивании рекультивационного слоя на межступенных площадках, два автосамосвала транспортируют рекультивационный слой от места его экскавации до места его нанесения.

Второй вариант предусматривает использование одного бульдозера Т-170 и одного гидравлического экскаватора «обратная лопата» с ковшом емкостью 1,5-2,0 м<sup>3</sup>, как основного выемочного механизма. Более подробно остановимся на порядке выполнения работ по второму варианту. Высота уступа нерабочего борта карьера равна 4 м, что соответствует глубине черпания наиболее часто применяемой модели гидравлического экскаватора на горных работах в щебеночных карьерах. Подготовка рекультивационного слоя к его нанесению начинается с того, что бульдозер начинает толкать четвертичные породы первого уступа к его откосу в направлении выработанного пространства карьера. Объем выемки и перемещения на межступенную площадку с высотной отметкой -8м будет равным сумме всех объемов, наносимых на каждую нижележащую межступенную площадку нерабочего борта с высотными отметками -8; -12; -16... -50 м. Мощность наносимого продуктивного слоя принимаем равной 0,4 м. Ширина межступенных площадок в этом варианте принимается равной 5 м, что оговорено конструктивными параметрами экскаватора. Далее экскаватор устанавливают на сформированный бульдозером навал рекультивационного слоя, после чего начинают перемещение навала на третью от поверхности межступенную площадку (рис. 4).



Рис. 4. Схема перемещения рекультивационного слоя в технологиях рекультивации нерабочего борта щебеночного карьера

Производительность экскаватора принимаем равной 2 000 м<sup>3</sup> за одну 12-часовую рабочую смену. На второй от поверхности межступенной площадке экскаватор оставляет рекультивационный слой мощностью 0,4 м. После того, как рекультивационный слой перемещен на межступенную площадку между вторым и третьим уступом, экскаватор устанавливают сверху навала и перемещают рекультивационный слой дальше на площадку с отметкой -12 м. При этом слой мощностью 0,4 м остается на площадке по всей ее ширине. Порядок перемещения рекультивационного слоя по всей высоте борта карьера остается для всех площадок неизменным. При обосновании варианта технологии рекультивации определены удельные затраты на этот вид работ, изменение которых представлено на рис. 5.

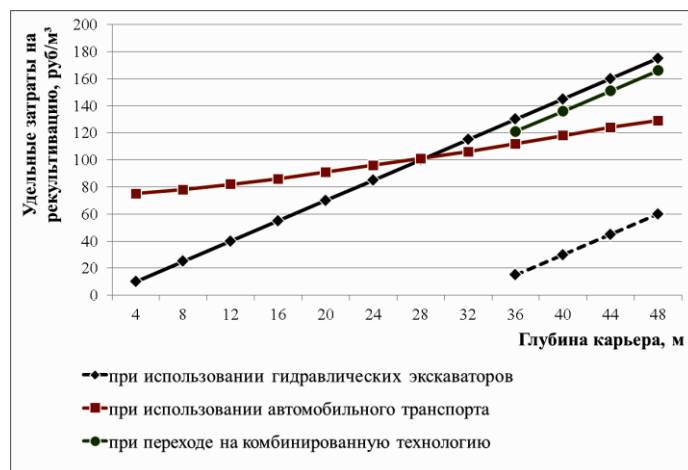


Рис. 5. Изменение удельных затрат в альтернативных вариантах технологии рекультивации нерабочего борта

Анализ изменения затрат говорит о целесообразности выполнения работ по второму варианту до высотной отметки -28 м, а начиная с отметки -32 м, целесообразен переход на классическую технологию по первому варианту. Кроме этих вариантов рассмотрена комбинированная технология рекультивации (третий вариант). В третьем варианте используют комбинацию двух комплектов оборудования, входящих в первый и второй варианты: до отметки -28 м используем один бульдозер и один гидравлический экскаватор, далее на межступенную площадку с высотной отметкой -32 м автомобильным транспортом завозим необходимый объем рекультивационного слоя, далее ниже этого горизонта, начиная с отметки -36 м используем гидравлический экскаватор на перемещении этого слоя вниз. Высотная отметка -32 м выбрана не случайно, поскольку при рекультивации межступенных площадок с использованием гидравлического экскаватора, удельные затраты на перемещение рекультивационного слоя с отметки -28 м становятся выше, чем затраты при доставке его автомобильным транспортом. Схема границ применения технологий по третьему варианту представлена на рисунках 6, 7.



Рис. 6. Схема нанесения рекультивационного слоя при переходе на комбинированную технологию рекультивации

На рис. 7 показаны контуры горизонтальной проекции трассы автомобильной технологической дороги в варианте доставки продуктивного рекультивационного слоя на межступенную площадку с отметкой -32 м.

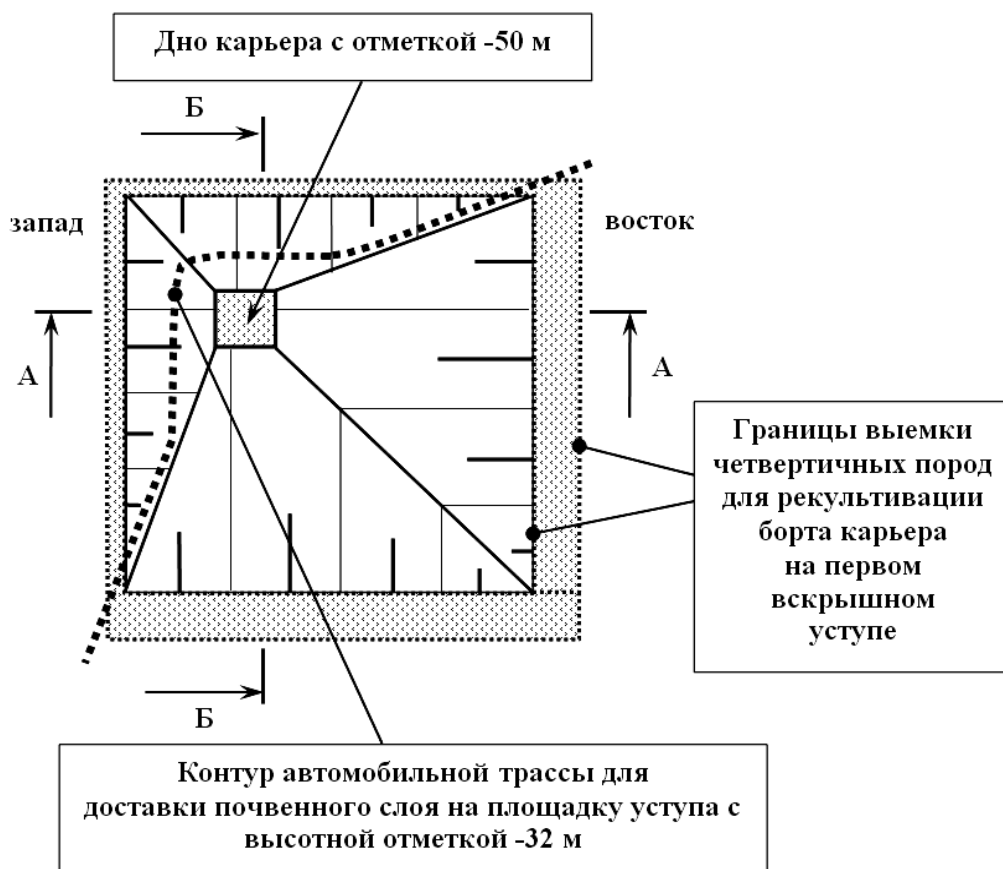


Рис. 7. Горизонтальная проекция нерабочих бортов щебеночного карьера при переходе на комбинированную технологию рекультивации по третьему варианту

На этом же рисунке выделены границы выемки почвенных слоев и четвертичных отложений. Поскольку нерабочие площадки на бортах северной и западной экспозиции имеют ширину в разы больше, чем два других борта, то внешние границы выемки четвертичных отложений раздвигаются вдоль восточного и южного контуров карьера. В нашей работе также доказано, что использовать только удельные затраты на производство работ по рекультивации было бы некорректно. Для получения объективной картины выполнена комплексная экономическая оценка с учетом объемов рекультивационного слоя, наносимого на все межступенные площадки нерабочего борта карьера. Изменение затрат на рекультивацию представлено на рис. 8.

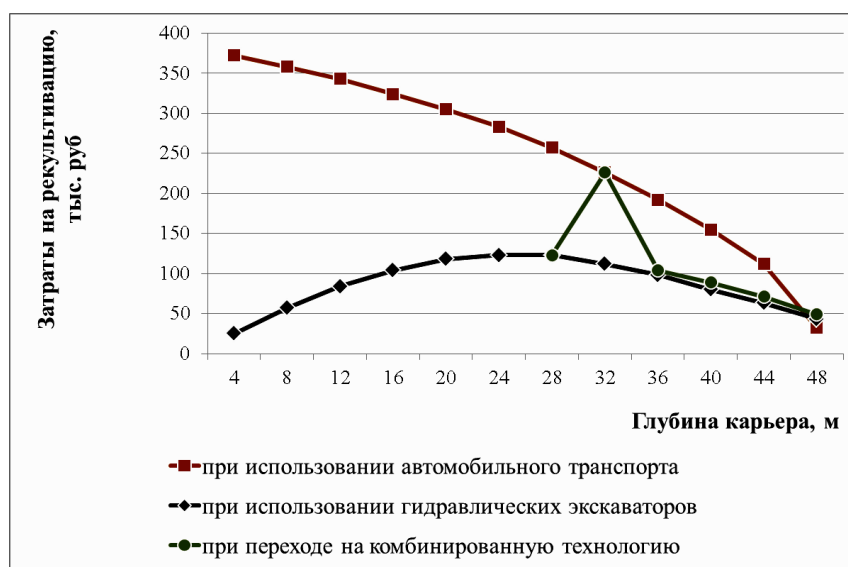


Рис. 8. Изменение затрат на рекультивацию одного нерабочего борта щебеночного карьера южной или восточной экспозиции

Как видно на графике затраты уменьшаются, поскольку темпы изменения объемов рекультивационного слоя, наносимого на межступенные площадки опережают темпы роста удельных затрат. Вследствие этого вариант перемещения продуктивного слоя гидравлическим экскаватором в технологиях рекультивации является максимально эффективным. Дальнейшие расчеты показывают, что перемещение четвертичных отложений гидравлическим экскаватором экономически оправдано на нерабочих бортах южной и восточной экспозиций, а их использование на двух других бортах карьера сопровождается резким снижением эффективности их работы.

Итак, мы представили комплексное обоснование нанесения продуктивной смеси мощностью 0,4 м, состоящей из почвенных слоев и четвертичных отложений на межступенные площадки нерабочих бортов карьеров на этапе выполнения горнотехнической рекультивации. В заключении отметим, что работы по рекультивации нерабочих бортов щебеночных карьеров могут выполняться с применением различных структур комплексной механизации при нанесении рекультивационного слоя на межступенные площадки нерабочего борта. Снижение затрат и эмиссии вредных веществ в атмосферу достигается за счет применения гидравлических экскаваторов типа «обратная лопата» на перемещении рекультивационного слоя от верхнего уступа к нижнему, что становится возможным за счет многократной его переэкскавации. На рекультивации одного щебеночного карьера с размером 500×500 м, глубиной 50 м, нерабочие борта которого предполагается отстроить с учетом максимального количества деревьев в формирующихся лесных экосистемах в отработанных карьерах, возможно сокращение затрат на 1,8 млн. руб. с одновременным снижением эмиссии вредных веществ от работы дизельных двигателей в атмосферу на 20-22 %.