

УДК 622.85:622.882:622.271.45

## РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ КОНСТРУКЦИИ БОРТОВ КАРЬЕРОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЩЕБНЯ С УЧЕТОМ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ЦЕЛЕЙ

И.М. Барадулин, аспирант ФГОАУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск

И.В. Зеньков, д.т.н., старший научный сотрудник, Специальное конструкторско-технологическое бюро «Наука» КНЦ СО РАН, г. Красноярск

Экономическое развитие РФ обуславливает увеличение темпов гражданского и промышленного строительства, а также развитие логистической сети, в т.ч. автомобильных и железных дорог. Строительство новых дорог, а также их текущий и капитальный ремонт предполагает увеличение объема производства дорожного щебня, и в особенности на территории Сибири и Дальнего Востока, где необходимо в ближайшее время увеличить производство щебня до 25-30 млн т в год. Рост объемов гражданского строительства, выполнение федеральной программы «Дороги России XXI век» обуславливают масштабную разработку месторождений как гранита, так и известняков. На территории Красноярского края расположены многочисленные карьеры по производству щебня на месторождениях гранита и известняка.

В 2010-2013 гг. авторами проведены полевые экспедиции по исследованию результатов естественного восстановления локальных экосистем на элементах ландшафтной архитектуры (межступенные площадки, откосы уступов и нерабочих бортов) отработанных карьеров в районе пгт. Зыково Красноярского края. В ходе экспедиций было выявлено полное отсутствие работ по рекультивации в отработанных карьерных выработках. Предварительный анализ состояния горнопромышленных ландшафтов в отработанных карьерных выработках указал на наличие определенных тенденций в появлении и развитии растительных экосистем на нерабочих бортах в зависимости от их географической ориентации (запад, север, восток, юг), схематично представленных на рис. 1.

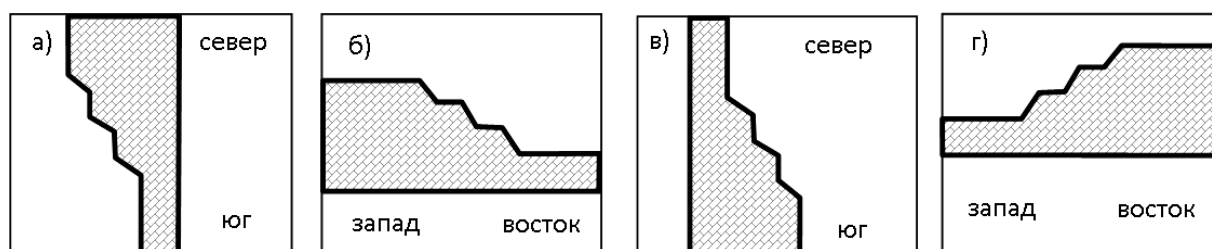


Рис. 1. Схемы ориентации нерабочих бортов карьера:

- а – южная экспозиция; б – восточная экспозиция;  
в – северная экспозиция; г – западная экспозиция

По генезису вовлеченные в разработку месторождения при производстве щебня состоят из основной горной массы примерно одного геологического возраста (известняки) и небольшого объема рыхлых четвертичных осадочных отложений (лессовидные и покровные суглинки, глина), покрывающих известняки. Растительное окружение мест разработки месторождений характеризуется в равной степени видовым составом как лесостепной, так и подтаежной географической зоны. Месторождения известняков и доломитов, как правило, окружены смешанными лесами (береза, сосна, осина), а месторождения гранитов – в основном темнохвойными лесами (ель, пихта, кедр) с небольшой долей березы и осины. Промежуточный ярус в каждом случае – это подлесок из рябины, черемухи и т.п. По своим биоэкологическим свойствам представленная растительность весьма не приспособлена для поселения на открытых участках без почвенных слоев, какими являются буквально все элементы нерабочих бортов карьеров. В ходе экспедиций были также установлены участки карьеров с почвенными слоями, намытыми с верхних уступов. Существующее многообразие участков карьера (углы откоса, наклон межуступных площадок, отсутствие/наличие почвенных слоев) учитывалось при проведении мониторинга по выявлению геометрических параметров нерабочих бортов карьеров с наилучшими показателями и оптимальных для поселения и произрастания растительности.

Основой для разработки рекомендаций по ведению открытых горных работ на месторождениях общераспространенных полезных ископаемых при постановке бортов в нерабочее положение выступили результаты горно-экологического мониторинга на территории отработанных карьеров в Красноярском крае. За критерий оценки при формировании экологически приемлемых геометрических параметров карьера приняты временной период появления и плотность пионерной лесной растительности в увязке с действием природных факторов, ускоряющих эти процессы. В итоге порядком формирования карьерной выработки должна быть достигнута главная экологическая цель – поселение и приемлемые темпы роста растительности повсеместно, на всех нерабочих бортах карьера, при этом заранее выполняют экологическую оптимизацию геометрических параметров формы карьерной выемки.

Отдельной строкой отметим то, что месторождение щебня может быть отработано исходя из классических принципов – углы откоса уступов борта карьера составляют  $70-80^0$ , разделяющие уступы горизонтальные, предохраня-

тельные площадки имеют ширину 3-5 м (рис. 2а). Так, например, при размерах карьера по верху 500×500 м площадь горизонтальной проекции нерабочих бортов составит 9 га, а площадь дна карьера – 16 га.

В своих исследованиях мы установили, что в отработанных карьерах идет образование мертвых водоемов из ливневых вод различной площади, а между ними население близлежащих населенных пунктов устраивает стихийные свалки бытовых отходов. В этой связи предлагаем формировать карьерную выемку с минимальной площадью дна карьера.

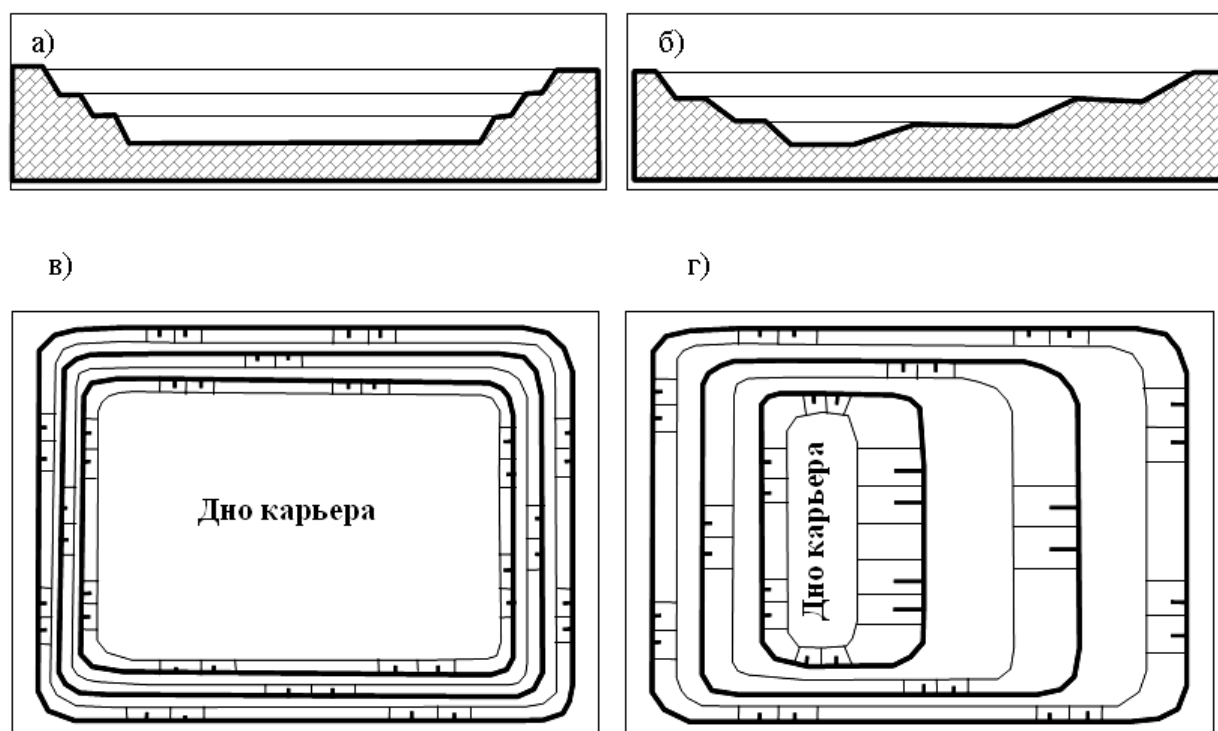


Рис. 2. Конструкция нерабочих бортов карьера: а – в применяемых технологиях; б – в технологиях с учетом экологических целей; в – на плане карьера, отработанного по классическим технологиям; г – на плане карьера, отработанного по авторским технологиям

Принцип трансформации геометрических параметров карьера, способствующих ускоренному появлению и адекватному приросту стволовой части деревьев, представлен на рис. 2б, г. На рисунках показаны три нерабочих борта северной, восточной и южной экспозиций и один борт западной экспозиции, представленный широкими площадками и пологими откосами уступов. Ширина межуступных площадок и углы откосов уступов должны обеспечивать минимально допустимые по технологическим параметрам размеры дна карьера.

Далее была составлена выборка из участков по 0,2 га каждый, при этом учтена их географическая ориентация. Внимание было обращено на тот факт, что плотность деревьев меняется в несколько раз в зависимости от ориентации нерабочего борта карьера. Кроме того, на количество деревьев оказывает значимое влияние наличие почвенных слоев, состоящих из смеси гумусосодержащего почвенного слоя и четвертичных отложений (табл. 1), что было установлено в ходе полевых экспедиций.

На первый взгляд, на рис. 2б, г показана экологически оптимальная форма карьера, но данная гипотеза требует проверки. С этой целью рассмотрим возможные комбинации географической ориентации нерабочих бортов карьера с учетом накладываемых ограничений в виде смещения дна карьера относительно осей симметрии карьерной выемки рис. 3.

Таблица 1

Численность взрослых деревьев на элементах нерабочих бортов карьера, ед/га

Элемент нерабочего борта карьера	Географическая ориентация нерабочего борта карьера			
	Запад	Восток	Север	Юг
Межуступные горизонтальные площадки без почвенного слоя	341	55	313	32
Межуступные площадки без почвенного слоя с уклоном 3-5° в сторону выработанного пространства	293	47	272	25
Межуступные площадки без почвенного слоя с уклоном 3-5° в сторону нерабочего борта	364	69	388	43
Межуступные горизонтальные площадки с почвенным слоем	587	102	533	55
Межуступные площадки с почвенным слоем и уклоном 3-5° в сторону выработанного пространства	562	91	498	41
Межуступные площадки с почвенным слоем и уклоном 3-5° в сторону нерабочего борта	610	117	561	62
Откосы уступов под углом 15-24° без почвенного слоя	387	49	266	24
Откосы уступов под углом 15-24° с почвенным слоем	502	87	434	37

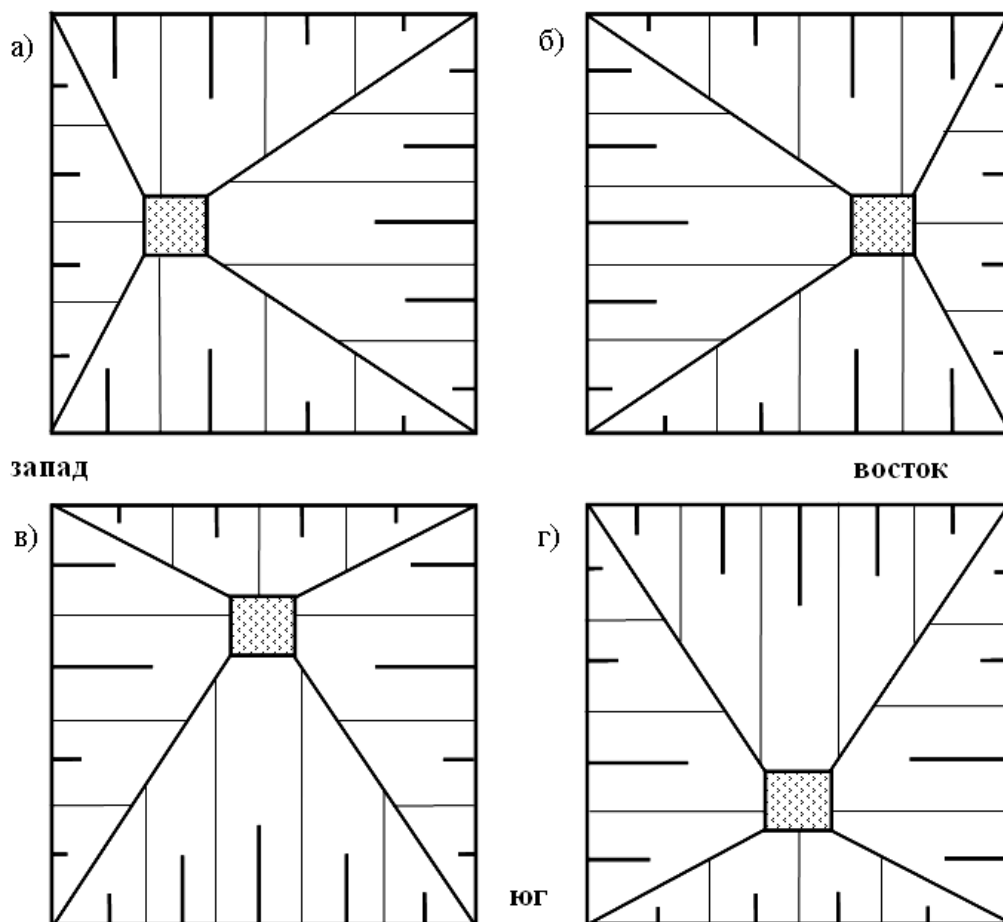


Рис. 3. Схемы постановки бортов карьера в нерабочее (финишное) положение с учетом географической ориентации (симметричное смещение центра дна карьера)

Форма карьерной выработки выбрана в виде правильного квадрата с размером по верху  $500 \times 500$  м. Рассчитаем площади элементов нерабочих бортов (горизонтальные/наклонные межуступные площадки, откосы уступов). Дно карьера на всех схемах принималось квадратной формы с размерами  $50 \times 50$  м. Принимая во внимание установленные показатели растительных экосистем на нерабочих бортах различной географической ориентации (табл. 1) и расчетные площади этих бортов, получим прогнозную картину, представленную на рисунке 4. Принимая во внимание установленные показатели растительных экосистем на нерабочих бортах различной географической ориентации (табл. 1) и расчетные площади этих бортов, получим прогнозную картину, изображенную на рис. 4.

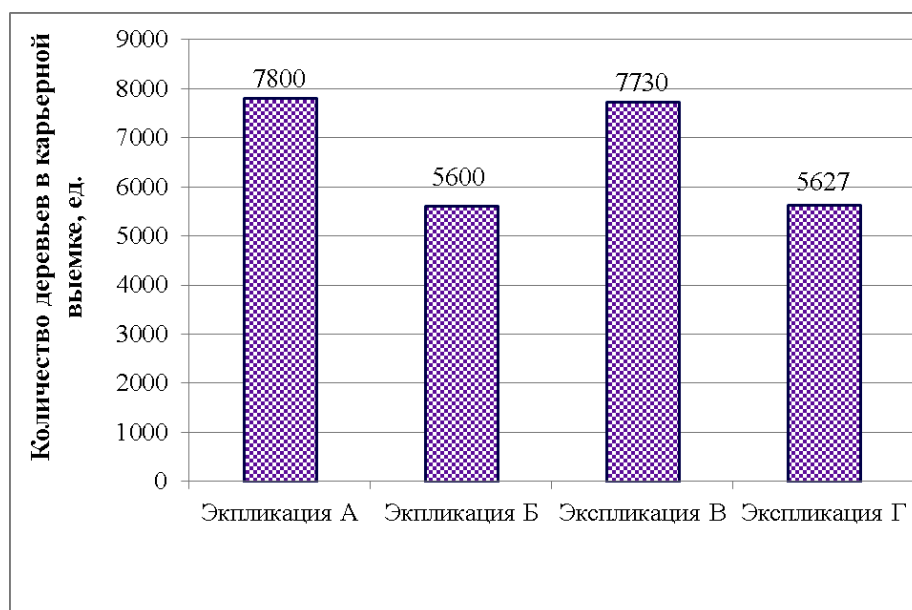


Рис. 4. Показатели прогнозной оценки формирования локальной растительной экосистемы в карьерной выемке при разработке месторождений строительного и дорожного щебня при симметричном смещении дна карьера

Мы достоверно установили, что ускоренное появление древесно-кустарниковой и травянистой растительности (через 2-3 года) в отработанных карьерах, высокие годовые темпы ее прироста и уровень продуктивности на уровне природных ландшафтов наблюдаются на откосах уступов всех карьеров с пологими углами их заоткоски, на межуступных площадках с уклоном в сторону нерабочего борта карьера и в значительной степени зависят от обеспеченности растений питательными веществами. Последнее условие выполняется на участках карьера с почвенным слоем с содержанием гумуса в диапазоне 2-5 %, нанесенным искусственно или под действием природных факторов. Кроме того, на плотности произрастания деревьев сказывается географическая ориентация нерабочих бортов.

Итак, на основе моделирования экологических показателей формирующихся экосистем в отработанных карьерах и системного анализа результатов полевых экспедиций и дистанционного горно-экологического мониторинга установлены закономерности формирования локальных экосистем на участках отработанных карьеров с приемлемыми показателями, которые положены в основу экологической оптимизации геометрической формы карьерной выработки. Экологически оптимальные параметры карьеров должны приниматься во внимание при формировании технического задания на проектирование открытых горных работ на месторождениях общераспространенных полезных ископаемых.

На наш взгляд, дальнейшее движение по существующей траектории в области разработки щебеночных карьеров по технологиям, созданным в 60-70-е гг. прошлого века, каждый раз будет способствовать формированию горнопромышленных ландшафтов с показателями, далекими от значений экологически оптимальных. Но такое положение должно измениться в лучшую сторону, если имеется понимание того, как географически правильно ориентировать нерабочие борта карьера, при которых будут обеспечиваться оптимальные экологические показатели техногенного рельефа. Мы предлагаем лучшие на текущий момент инженерные технологические решения, использование которых позволит в кратчайшие сроки сформировать экологически оптимальные горнопромышленные ландшафты в отработанных карьерных выработках с учетом географической ориентации их нерабочих бортов.

Горнопромышленные ландшафты, близкие к природным, могут быть сформированы на месторождениях по добыче нерудного сырья на территории РФ в географическом секторе между  $48^{\circ}$  и  $60^{\circ}$  параллелями северного полушария с континентальным климатом и во всем диапазоне почвенного разнообразия, соответствующего этому сектору. При этом в качестве главных условий для ускоренного формирования локальных экосистем в отработанных карьерах должны быть выполнены следующие технологические требования и регламенты:

1. Углы заоткоски уступов карьера при их постановке в конечное положение независимо от их высоты и количества должны находиться в диапазоне  $18-22^{\circ}$ .

2. Уступы при формировании нерабочего борта отработанного карьера разделяются межуступными площадками заранее известной ширины, суммарно обеспечивающих минимальные размеры дна карьера, с обратным  $3-5^{\circ}$ -ным уклоном в сторону нерабочего борта.

3. На все элементы нерабочего борта – откосы уступов, межуступные площадки, дно карьера – наносят техногенную почвенную смесь, приготовленную из почвенных слоев и четвертичных отложений мощностью до 0,3 м.

4. Геометрическая форма карьера должна выбираться из учета максимальной площади бортов северной и западной экспозиций и минимальной площади южной и восточной экспозиций.