

**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)

## **ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ ПО ВЫБОРУ ФОРМЫ ЩЕБЕНОЧНЫХ КАРЬЕРОВ С УЧЕТОМ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ЦЕЛЕЙ**

### **ENGINEERING DECISIONS REGARDING THE FORM OF CRUSHED STONE QUARRIES BASED ON ENVIRONMENTAL GOALS**

Аннотация. В статье представлены форма и параметры карьеров по добыче щебня с учетом экологических интересов. На основе результатов полевых экспедиций, космического дистанционного зондирования и эколого-математического моделирования установлена географическая ориентация нерабочих бортов щебеночных карьеров, учет которой обеспечивает ускоренное формирование лесной экосистемы.

Abstract. The article presents the form and parameters of the quarries, crushed stone taking into account environmental interests. Based on the results of field expeditions, space remote sensing, environmental and mathematical modeling the author determines the geographical focus outside the sides of gravel pits, which provides accelerated formation of forest ecosystems.

Как известно, траектория развития минерально-сырьевой базы России неуклонно смещается в сторону Сибири и Дальнего Востока, в малоосвоенные северные районы, отдаленные от магистральных дорог и систем централизованного энергоснабжения. Одним из главных факторов, сдерживающих широкомасштабное освоение минеральных ресурсов Сибири, является недостаточное развитие инфраструктуры региона, особенно автомобильных дорог с твердым покрытием. Именно трудность транспортного доступа к месторождениям в отдаленной местности лимитирует темпы вовлечения их в эксплуатацию; это обстоятельство особо подчеркивается в зарубежных источниках [2-4]. Известен факт, когда отдаленность месторождения асбеста кассиар (северная часть провинции Британская Колумбия, Канада) от основных транспортных коммуникаций задержало освоение этого объекта более чем на 20 лет, пока к нему не подвели дорогу с гравийным покрытием длиной 140 км [5].

В целях ускоренного развития горнопромышленного комплекса на Востоке России и решения транспортной проблемы этого обширного региона планируется резко увеличить объем производства дорожного щебня с доведением его до 30 млн. т в год [6]. Щебень, применяемый в промышленном и гражданском строительстве, а также при создании транспортных коммуникаций с твердым покрытием, является незаменимым природным материалом входит в группу общераспространенных полезных ископаемых, разрабатываемых открытым способом.

В настоящее время Красноярский край и Иркутская область являются регионами со значительной техногенной нагрузкой, и к тому же им принадлежит особая роль лидеров в экономическом развитии РФ. На территории этих регионов размещены 36 карьеров по производству щебня на месторождениях гранита и известняка. Средняя величина площади одной карьерной выемки составляет 25,7 га. В плане все карьеры имеют прямоугольную или квадратную форму.

В специальной литературе весьма подробно представлены перспективные направления в развитии открытых горных работ; в трудах ведущих научных горных школ гг. Москвы, Санкт-Петербурга, Красноярска, Иркутска также имеются научные рекомендации по повышению экологичности горного производства [8-12]. Актуальные экологические проблемы, возникающие в горнопромышленных районах, рассмотрены в статьях зарубежных исследователей [13-14]. Но, несмотря на большой объем научных трудов, по-прежнему остаются неясности в поисках мер по экологической реабилитации отработанных щебеночных карьеров Сибири.

Авторское обследование территорий отработанных щебеночных карьеров Красноярского края с применением средств дистанционного зондирования Земли выявило негативную тенденцию – естественное восстановление растительных экосистем идет крайне медленно и произошло только на 9,1 % площади всех остаточных карьерных выемок вне зависимости от момента окончания горных работ. Растительное окружение мест отработки характеризуется видовым составом лесов как лесостепной, так и подтаежной географической зоны. Месторождения известняков и доломитов, как правило, окружены смешанными лесами (береза, сосна, осина), а месторождения гранитов – темнохвойными лесами (ель, пихта, кедр) с небольшой долей березы и осины. Промежуточный ярус в каждом случае – это подлесок из рябины, черемухи и т.п. Существующее многообразие участков карьера (углы откоса, наклон межступенных 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 [10, 11].

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 – это поселение и приемлемые темпы роста растительности повсеместно, на всех нерабочих бортах карьера, при этом заранее (на проектной стадии) 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  $70-80^{\circ}$ , разделяющие уступы горизонтальные предохранительные площадки имеют ширину 3-5 м (рис. 1 а). Так, например, при размерах карьера по верху  $500 \times 500$  м (площадь 25 га) площадь горизонтальной проекции нерабочих бортов составит 9 га, а площадь дна карьера составит 16 га.

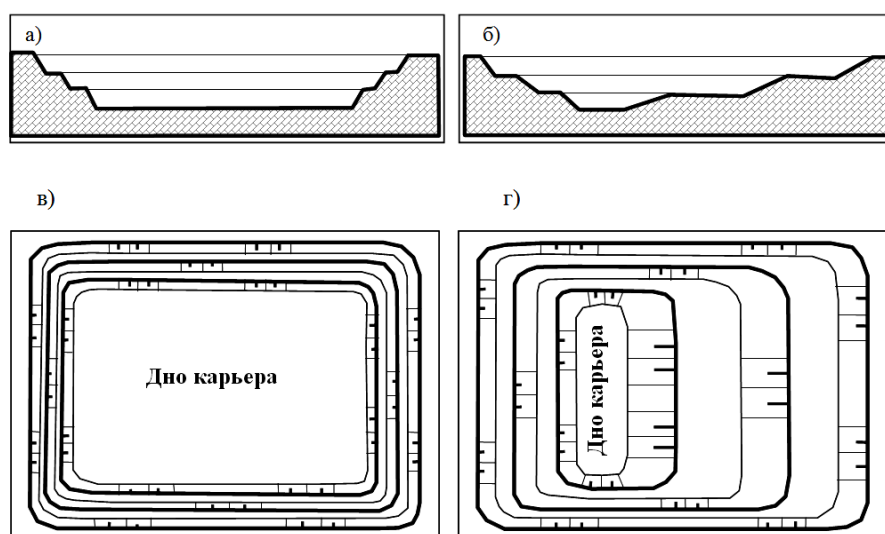


Рис. 1. Конструкция нерабочих бортов карьера: а) в применяемых технологиях; б) в технологиях с учетом экологических целей; в) на плане карьера, отработанного по классическим технологиям; г) на плане карьера, отработанного по авторским технологиям

Принцип трансформации геометрических параметров карьера, способствующих ускоренному появлению и адекватный прирост ствольной части деревьев, представлено на рис. 1 г. На рисунках показаны три нерабочих борта северной, восточной и южной экспозиций и один борт западной экспозиции, представленный широкими площадками и пологими откосами уступов. Для принятия решения о выборе экологически оптималь-

ной формы карьера летом 2016 г. мы провели очередные полевые экспедиции на территории отработанных карьеров (пгт. Зыково, Красноярский край) по выявлению плотности лесной растительности на нерабочих бортах различной географической ориентации. Типичная картина молодых (13-15 лет) растительных экосистем наглядно представлена на рис. 2.

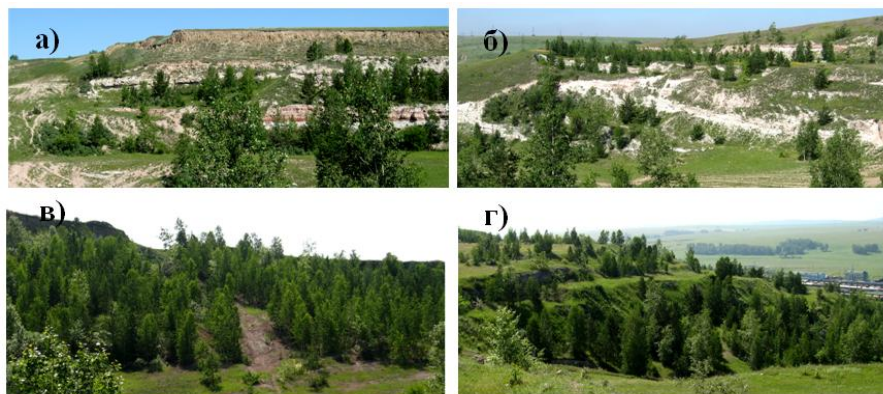


Рис. 2. Фрагменты горнопромышленных ландшафтов: а) нерабочий борт карьера южной экспозиции; б) то же восточной экспозиции; в) нерабочий борт карьера северной экспозиции; г) то же западной экспозиции

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 продуктивных почвенных слоев, состоящих из смеси гумусосодержащего почвенного слоя и четвертичных отложений (табл. 1), что было установлено в ходе проведения полевых экспедиций [14].

Таблица 1

Численность взрослых деревьев на элементах нерабочих бортов карьера, ед.

| 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 |

На первый взгляд, на рис. 1 г показана экологически оптимальная форма карьера, но данная гипотеза требует проверки. С этой целью рассмотрим возможные комбинации географической ориентации нерабочих бортов карьера, состоящих из трех нерабочих уступов (рис. 3). Во всех случаях транспортный доступ на рабочие горизонты карьера предполагается обеспечить в месте сочленения двух нерабочих бортов с обустройством автомобильных съездов (на рис. 3 не показаны).

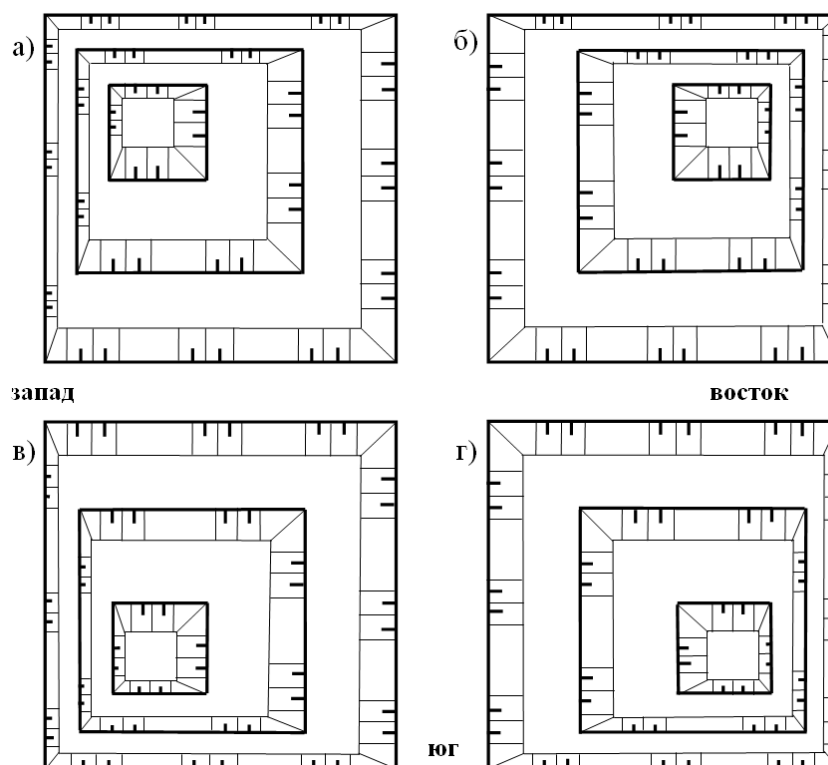


Рис. 3. Схемы постановки бортов карьера в нерабочее (финишное) положение с учетом географической ориентации

В моделировании принята форма карьерной выработки в виде правильного квадрата с размером по верху 500×500 м. Площади отдельных элементов, составляющих нерабочие борта карьера на экспликациях (рис. 3) представлены в таблице 2.

Таблица 2

Площадь нерабочих бортов карьера с учетом географической ориентации

| Географическая ориентация борта карьера | Площадь, га  |     |              |     |              |     |              |     |
|---|--------------|-----|--------------|-----|--------------|-----|--------------|-----|
|   | Экпликация А |     | Экпликация Б |     | Экпликация В |     | Экпликация Г |     |
|   | МП           | ОУ  | МП           | ОУ  | МП           | ОУ  | МП           | ОУ  |
| Запад                                   | 6,0          | 2,9 | 2,9          | 0,6 | 6,0          | 2,9 | 2,9          | 0,6 |
| Север                                   | 6,0          | 2,9 | 6,0          | 2,9 | 2,9          | 0,6 | 2,9          | 0,6 |
| Восток                                  | 2,9          | 0,6 | 6,0          | 2,9 | 2,9          | 0,6 | 6,0          | 2,9 |
| Юг                                      | 2,9          | 0,6 | 2,9          | 0,6 | 6,0          | 2,9 | 6,0          | 2,9 |
| Дно карьера                             | 0,25         |     | 0,25         |     | 0,25         |     | 0,25         |     |

Примечание: в таблице МП – межуступные площадки; ОУ – откосы уступов.

Принимая во внимание выявленные показатели растительных экосистем на нерабочих бортах различной географической ориентации (табл. 1) и расчетные площади этих бортов (табл. 2), получим прогнозную картину естественного лесовосстановления, представленную на рис. 4 с почвенным слоем.

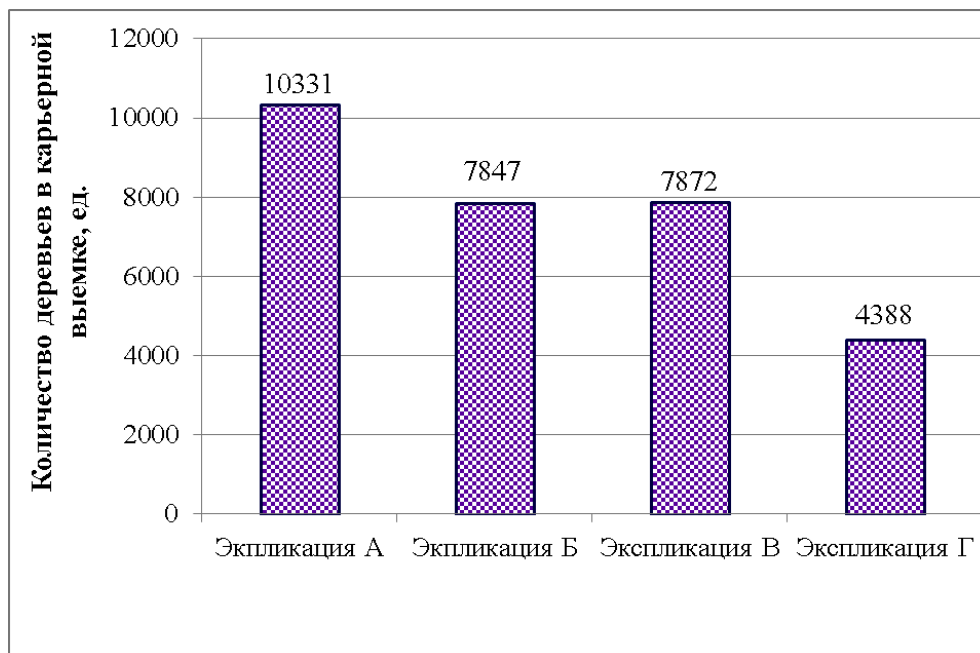


Рис. 4. Показатели прогнозной оценки формирования локальной лесной экосистемы в карьерной выемке при разработке месторождений строительного и дорожного щебня

Мы достоверно установили, что ускоренное появление древесно-кустарниковой и травянистой растительности (2-3 года) в отработанных карьерах, высокие годовые темпы ее прироста и уровень продуктивности на уровне природных ландшафтов наблюдается 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 невысоким содержанием гумуса в диапазоне 1,5-3,5 %, нанесенным искусственно или намывным с верхнего уступа летними или сезонными водотоками. Кроме того, на плотности произрастания деревьев существенно сказывается географическая ориентация нерабочих бортов. Отдельно отметим установленную пестроту в тенденциях формирования локальных экосистем в отработанных карьерах, положительные результаты которого неизменно должны выступить ориентиром в создании горнодобывающими предприятиями архитектуры экологически благоприятных горнопромышленных ландшафтов в местах добычи рудного и нерудного сырья открытым способом на терри-

тории Центральной и Восточной Сибири со схожими почвенно-географическими и природно-климатическими характеристиками.

На основе анализа результатов дистанционного горно-экологического мониторинга и полевых экспедиций установлены закономерности формирования локальных экосистем на участках отработанных щебеночных карьеров; основные факторы закономерностей положены в основу экологической оптимизации геометрической формы остаточных карьерных выемок. Принятые технические решения рекомендуется учитывать при проектировании открытых горных работ на месторождениях общераспространенных полезных ископаемых.

### Список литературы

1. Ильин С.А., Коваленко В.С., Пастихин Д.В. Сибирь как перспективный полигон для освоения минеральных ресурсов открытым способом // Горный журнал. 2013, № 4, С. 30-36 (окончание).

2. Laarmann Diana, Korjus Henn, Sims Allan, Kangur Ahto, Kiviste Andres and Stanturf John A. / Evaluation of afforestation development and natural colonization on a reclaimed mine site // Restoration Ecology, V. 23 (3), 2015, P 301-309.

3. Naeth M. Anne and Wilkinson Sarah R. / Establishment of Restoration Trajectories for Upland Tundra Communities on Diamond Mine Wastes in the Canadian Arctic // Restoration Ecology, V. 22 (4), 2014, P. 534-543.

4. Turner Shane R., Steadman Kathryn J., Vlahos Stephen, Koch John M. and Dixon Kingsley W. / Seed Treatment Optimizes Benefits of Seed Bank Storage for Restoration-Ready Seeds: The Feasibility of Prestorage Dormancy Alleviation for Mine-Site Revegetation // Restoration Ecology, V. 21 (2), 2013, P. 186-192.

5. Ильин С.А. Нагорные карьеры мира. Ч. 1. – М.: Информационно-аналитический центр горных наук, 1993. – 224 с.

6. Государственная программа «Развитие транспортной системы» // [http:// government.ru/programs/206/events/](http://government.ru/programs/206/events/).

7. Государственная программа «Развитие лесного хозяйства» на 2013-2020 годы // [http:// www.mnr.gov.ru/regulatory/detail.php?ID=130042](http://www.mnr.gov.ru/regulatory/detail.php?ID=130042).

8. Ильин С.А., Коваленко В.С., Пастихин Д.В. Повышение экономической эффективности открытых горных работ // Горный журнал, 2012, № 6, С. 56-65.

9. Косолапов А.И., Назарова Е.Ю. Повышение эффективности использования выработанных пространств карбонатных карьеров вблизи селитебных территорий // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2012, № 10, С. 52-60.

10. Тальгамер Б.Л., Коробкова Е.А. Обоснование работ по природоохранному направлению рекультивации выработанного пространства //

Вестник Иркутского государственного технического университета, 2011, № 9 (56), С. 79-82.

11. Тальгамер Б.Л., Семенов М.Е., Коробкова Е.А. Анализ структуры нарушенных карьерами земель в условиях Восточной Сибири // Известия высших учебных заведений. Горный журнал, 2012, № 8, С. 16-21.

12. Фомин С.И., Фауль А.А. Способы снижения экологической нагрузки на горнодобывающие регионы // Записки Горного института, 2013, Т. 203, С. 215-219.

13. Petri Rolf, Stein Werner, Dahmen Dieter, Buschhüt Klaus / Sustainable follow-up use of recultivated surfaces // World of Mining – Surface & Underground, V. 65 (2013) Published bimonthly No. 2, P. 92-101.

14. Hinzen Ajo / Replanning the post-mine landscape in the Inden opencast mine in a dialogue with the region// World of Mining – Surface & Underground, V. 64 (2012), No 3, P. 173-179.

15. Зеньков И.В., Нефедов Б.Н., Барадулин И.М., Кирюшина Е.В., Вокин В.Н., Сибирякова О.В. Тенденции формирования ландшафтной архитектуры и рекультивация в карьерах по производству щебня // Экология и промышленность России. 2014, № 1, С. 34-37.

16. Зеньков И.В., Нефедов Б.Н., Барадулин И.М., Кирюшина Е.В., Вокин В.Н., Сибирякова О.В. Результаты горно-экологического мониторинга техногенного рельефа в отработанных щебеночных карьерах // Экология и промышленность России. 2014, № 1, С. 38-41.