

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)

**РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ЩЕБЕНОЧ-
НЫХ КАРЬЕРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕСУРСОВ ДИСТАН-
ЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ В ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ**

**THE RESULTS OF ENVIRONMENTAL MONITORING
GRAVEL QUARRIES USING REMOTE SENSING RESOURCES
IN EASTERN SIBERIA**

Аннотация. В статье представлены характеристики отработанных щебеночных карьеров в Красноярском крае и Иркутской области, полученные на основе результатов дистанционного зондирования. Выявлены участки карьеров с формированием локальных лесных экосистем. Предложен комплекс технических мероприятий по повышению экологической эффективности естественного лесовосстановления на территории отработанных карьеров.

Abstract. The article presents the characteristics of spent gravel pits in the Krasnoyarsk territory and the Irkutsk region, obtained on the basis of the results of remote sensing. The identified areas of the quarry with the formation of local forest ecosystems. The complex technical measures aimed at increase of ecological efficiency of natural reforestation on-site waste pits.

В истории горного дела научно-практическое направление, связанное с разработкой щебеночных карьеров, занимает достойное место. И это не случайно, поскольку новое строительство объектов промышленного и гражданского назначения, прокладка автомобильных и железных дорог всегда связаны с потреблением больших объемов строительного и дорожного щебня. В перспективном развитии экономики РФ вектор его развития направлены прежде всего в промышленно развитые регионы Сибири (Кузбасс, Красноярский край, Иркутская обл.). На сегодняшний день количество щебеночных карьеров на территории двух последних регионов соизмеримо с количеством карьеров горнодобывающего сектора металлургической отрасли промышленности (железорудная, алюминиевая) и угледо-

бывающего сектора ТЭК. В настоящее время на территории центральных районов Красноярского края и Иркутской области являются отработанными, либо действующими 16 щебеночных карьеров на месторождениях гранита, известняка, доломитов. Исследование горнопромышленных ландшафтов в щебеночных карьерах с применением средств дистанционного зондирования Земли показало наличие весьма негативной тенденции – естественное восстановление растительных экосистем (травянистая и древесно-кустарниковая растительность) произошло на 9,1 % площади всех карьерных выемок независимо от окончания в них горных работ.

В результате непонимания экологических последствий ведения открытых горных работ и полного игнорирования экологической составляющей горного производства со стороны горнодобывающих предприятий практически все отработанные щебеночные карьеры на территории Красноярского края и Иркутской области представляют собой безжизненную пустыню независимо от окончания их отработки. И это несмотря на то, что в научной периодической печати опубликовано немало работ, посвященных повышению экологизации горного производства как российских исследователей, так и зарубежных [1-6, 7-9].

Критический анализ работ, указанных и других авторов, позволяет сделать вывод о том, что в решении экологических вопросов, связанных с разработкой щебеночных карьеров, до сих пор остаются нерешенными задачи выбора порядка разработки месторождений этого типа с учетом экологических целей, а также имеются резервы в повышении эффективности горнотехнического этапа рекультивации нерабочих бортов карьеров. В ходе обработки результатов дистанционного зондирования установлено, что каждый карьер имеет свои уникальные геометрические размеры – длину и ширину, а также высоту борта карьера, наличие/отсутствие и качественный состав растительного покрова. Все карьеры условно разделены на две группы по генезису горных пород – граниты и известняки (доломиты). Характеристики гранитных карьеров, являющиеся по сути индивидуальными для каждого карьера, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристика карьеров по производству гранитного щебня

Номер объекта	Карьерная выемка	Географические координаты		Размеры в плане, м	Высота борта, м
Красноярский край					
1	Красноярская ГЭС	55° 56' 21" с.	92° 19' 41" в.	800×90	75-80
2	Громадский	55° 54' 24" с.	94° 23' 01" в.	550×420	30-40
3	ОАО УС-604	56° 07' 28" с.	94° 39' 53" в.	300×200	40-45
4	Курагинский щебзавод	53° 52' 56" с.	92° 36' 46" в.	1270×400	60-70
5	Богучанская ГЭС	58° 42' 47" с.	99° 11' 32" в.	1500×280	30-35
Иркутская область					
6	Братская ГЭС	56° 17' 22" с.	101° 48' 55" в.	870×270	30-35

7	Усть-Илимская ГЭС	57° 58' 46" с.	102° 37' 54" в.	830×290	45-52
---	-------------------	----------------	-----------------	---------	-------

Суммарная площадь гранитных карьеров составляет 176,7 га, а средняя площадь одного карьера – 25,2 га. По состоянию на август 2015 года суммарная площадь растительных экосистем на территории объектов №№ 1-7 составляет 8,9 га. Коэффициент естественного восстановления, определяемый как отношение суммарной площади участков карьеров, на которых сформирована растительная экосистема, к площади всех карьеров составляет 0,05, что означает, что локальные экосистемы занимают 5 % площади всех гранитных карьеров. Компонировка обследованных щебеночных гранитных карьеров по результатам дистанционного зондирования представлена на рис. 1.

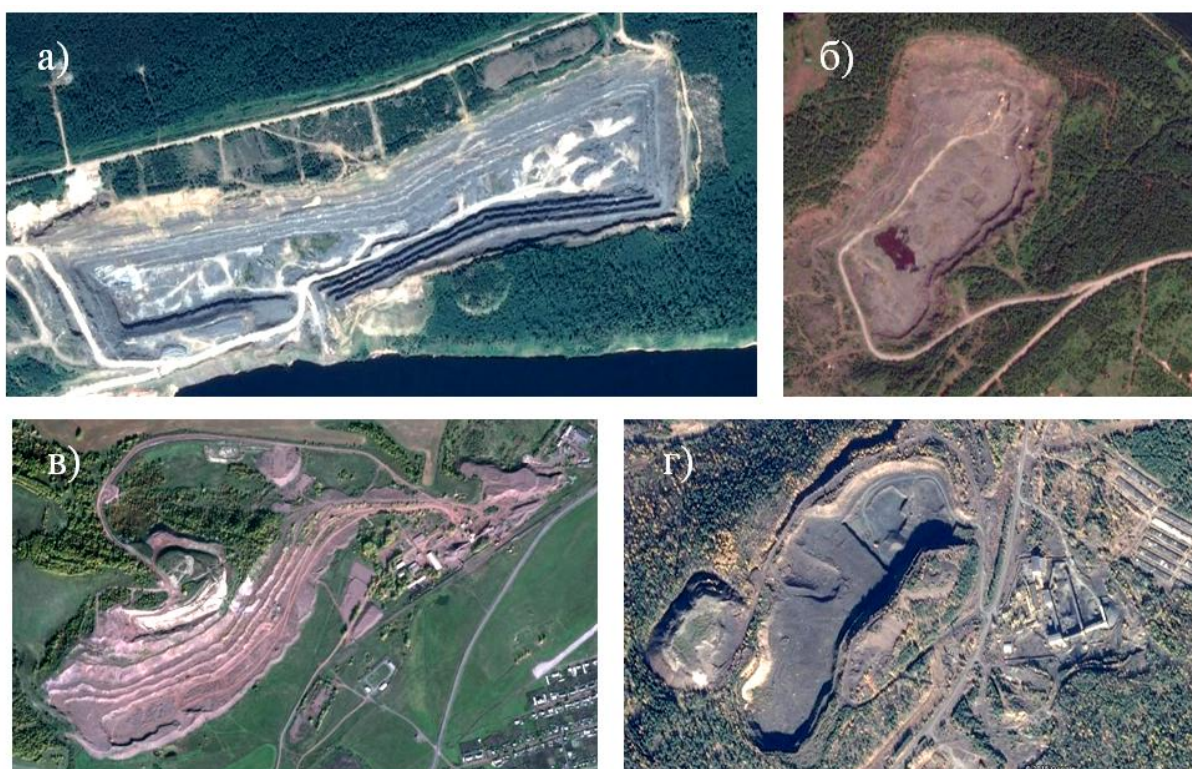


Рис. 1. Фрагменты космоснимков гранитных карьеров: а) при строительстве Богучанской ГЭС; б) при строительстве Братской ГЭС; в) Курагинский щебзавод (РЖД); г) при строительстве Усть-Илимской ГЭС

Кроме гранитных, а их гораздо больше на территории Красноярского края и Иркутской области разрабатываются месторождения известняков и доломитов.

Общая информация по карьерам площадью более 5 га представлена в таблице 2.

Таблица 2

Общая характеристика карьеров по производству известнякового щебня

Номер объекта	Карьерная выемка	Географические координаты		Размеры в плане, м	Высота борта, м
Красноярский край					
8	Кускун-Автодор	55° 56' 49" с.	93° 36' 18" в.	260×215	20-25
9	Зыково-КрасЖД № 1	56° 00' 03" с.	93° 06' 45" в.	320×330	48-55
10	Зыково-КрасЖД № 2	55° 59' 56" с.	93° 07' 13" в.	300×300	40-42
11	Крутокачинский щебзавод	56° 07' 48" с.	92° 17' 36" в.	800×400	50-60
Иркутская область					
12	Карьер Моргудон-БраАЗ	56° 07' 28" с.	101° 24' 09" в.	820×510	65-70
13	Карьер Петровка-РЖД	53° 07' 19" с.	103° 12' 24" в.	400×250	30-40
14	Карьер Свирск-РЖД	53° 06' 37" с.	103° 19' 16" в.	400×420	20-40
15	Карьер Карстовый-РЖД	56° 42' 05" с.	104° 25' 27" в.	круг Ø 700	45-60
16	Карьер Усть-Кут	56° 49' 45" с.	105° 46' 41" в.	210×290	12-16

К настоящему времени суммарная площадь карьеров на месторождениях известняков и доломитов составляет 170,4 га. По состоянию на октябрь 2015 г. суммарная площадь участков, на которых сформирована молодая растительная экосистема на территории объектов №№ 8-16 (табл. 2) составляет 21,7 га. Такая ситуация говорит о том, что коэффициент естественного восстановления экосистемы для карьеров известняков и доломитов составляет 0,133, что в свою очередь означает, что локальные растительные экосистемы сформированы на территории горнопромышленных ландшафтов суммарной площадью 13,3 % от площади, занятой карьерами. Отметим позитивный момент, заключающийся в том, что коэффициент естественного восстановления в карьерах известняков и доломитов в 2,6 раза выше, чем в карьерах, расположенных на месторождениях гранита.

Всего на обследованной территории в ее центральных районах находится 7 гранитных и 9 карьеров известняков и доломитов. Суммарная площадь горнопромышленных ландшафтов в шестнадцати карьерных выемках составляет 347,1 га. С учетом инфраструктуры (автомобильные подъездные дороги, склады щебня, автомобильные и ремонтные боксы, бытовые помещения и т.п.) площадь увеличивается до 454,3 га. При этом средняя площадь одного карьера (открытые горные работы) находится на уровне 21,7 га.

На наш взгляд, такая ситуация в обоих случаях является экологически не приемлемой, поскольку рельеф горнопромышленных ландшафтов в карьерах не подготавливается для эффективного протекания процессов естественного лесовосстановления и не проводятся работы по рекультивации

нарушенных земель. Рекультивация нерабочих бортов и дна карьеров не выполнена: почвенные слои отсутствуют, высадка кустарников или деревьев не производилась. При этом все объекты без исключения в достаточной степени обеспечены естественным семенным фондом и находятся в секторе влияния представителей смешанных лесов, либо подтаежной зоны, где продуцируются семена, снабженные крылом. Расселение представителей леса этих географических зон на смежных территориях происходит достаточно эффективно при перемещении семян ветрами различного направления на значительные расстояния. Во всех случаях обследованные карьеры находятся на расстоянии, не превышающем максимального расстояния ветрового переноса семян взрослых деревьев. И, тем не менее, на сегодняшний день естественное лесовосстановление произошло на территории площадью 9 % от территории всех карьеров. Это говорит о том, что необходимо каждой группе карьеров с учетом их индивидуальных особенностей разрабатывать инженерные решения с целью коренного изменения экологической ситуации, связанной с практически полным отсутствием растительных экосистем на территории горнопромышленных ландшафтов в отработанных карьерах.

Обнаженные горные породы после производства на них открытых горных работ являются совершенно непригодными для произрастания на них высших сосудистых растений, поскольку на их поверхности полностью отсутствуют источники питания (гумусовые почвенные слои). С целью формирования на этих поверхностях источника питания для растений необходимо провести комплекс работ по нанесению продуктивной смеси из почвенных слоев и четвертичных отложений. Такая смесь в необходимом и достаточном объеме может быть получена из приповерхностного слоя, а именно при отработке грунтов первого уступа.

Все карьеры условно разделены на три группы по форме карьера в плане. Первая группа представлена карьерами нагорного типа, у которых в ходе горных работ формируется/сформирован один нерабочий борт (комбинация горизонтальных площадок и наклонных поверхностей в виде откосов уступов под углом $65-75^{\circ}$). В эту группу отнесены объекты с номерами 1, 4, 12 (см. табл. 1, 2, рис. 1в). Суммарная площадь карьеров составляет 99,8 га. На откосах уступов полностью отсутствует древесно-кустарниковая растительность. В этих карьерах на горизонтальных площадках древесно-кустарниковая растительность в виде локальных участков занимает общую площадь 8,8 га. Коэффициент естественного лесовосстановления в этой группе находится на уровне 0,088.

Во вторую группу включены карьеры, имеющие П-образную форму в плане. Эти карьеры также нагорного типа и состоят из трех нерабочих бортов, сочлененных между собой. В эту группу входят объекты с номерами 2, 3, 8-10, 13-14. В этот ряд включены два объекта с номерами 9 и 10, имеющие Л-образную форму в плане с одним сочленением двух нерабочих бортов. Суммарная площадь карьеров этой группы составляет 81,1 га. Расти-

тельность в виде смешанного леса на откосах уступов и горизонтальных площадках суммарно занимает площадь 21,0 га. Коэффициент естественного восстановления экосистем на территории этих карьеров значительно выше, чем в карьерах первой группы и составляет 0,26. При этом на территории двух карьеров (объекты № 9 и 10) в ходе естественного лесовосстановления сформирована лесная экосистема на площади 14,4 га, что составляет 69 % от суммарной площади всех участков, на которых сформирована лесная экосистема в карьерах этой группы.

В третью группу включены карьеры углубочного типа в виде выемки в земной поверхности различной глубины в диапазоне от 15 до 60 м. Это классические карьеры, имеющие четыре нерабочих борта и квадратную, либо прямоугольную форму в плане. В эту группу входят объекты с номерами 5-7, 11, 15-16. В этот ряд включен один объект с номером 15, который имеет в плане форму круга диаметром 700 м. Суммарная площадь карьеров этой группы составляет 166,2 га. На откосах уступов в карьерах этой группы присутствуют следы (1-1,5 % площади карьера) древесно-кустарниковой растительности. На откосах уступов и горизонтальных площадках растительность в виде смешанного леса суммарно занимает площадь 1,8 га. Коэффициент естественного восстановления экосистем на территории этих карьеров в разы меньше, чем в карьерах, входящих в первую и вторую группы и находится на уровне 0,011.

Итоговые показатели, характеризующие современное состояние с естественным восстановлением на территории горнопромышленных ландшафтов в отработанных щебеночных карьерах, выглядят следующим образом – к настоящему времени суммарная площадь участков, на которых естественным образом, т.е. без участия человека, сформирована устойчивая лесная экосистема, составляет 31,6 га, а на площади 315,5 га древесно-кустарниковая растительность вообще отсутствует. На наш взгляд, такая ситуация должна быть исправлена за счет реализации инженерных решений, направленных на повышение экологической составляющей открытых горных работ на щебеночных карьерах.

В этой связи проработаны альтернативные варианты разработки и рекультивации карьеров по производству гранитного и щебеночного щебня. В первом варианте предусмотрено нанесение рекультивационного слоя из почвенных слоев и четвертичных пород (отработка верхнего уступа) на межступенные площадки нерабочих бортов и дно уже отработанных карьеров. В этом варианте изменение географической ориентации карьера не предусматривается. Нанесение рекультивационного слоя на откосы уступов, поставленные в финишное положение под углами 65-75⁰, не представляется возможным. При реализации этого варианта мы должны отдавать себе отчет в том, что крутые откосы уступов будут находиться бесконечно долгое время без поселения на них любой растительности. Такие участки

учтены при расчете коэффициента восстановления лесных экосистем в щебеночных карьерах (рис. 2).

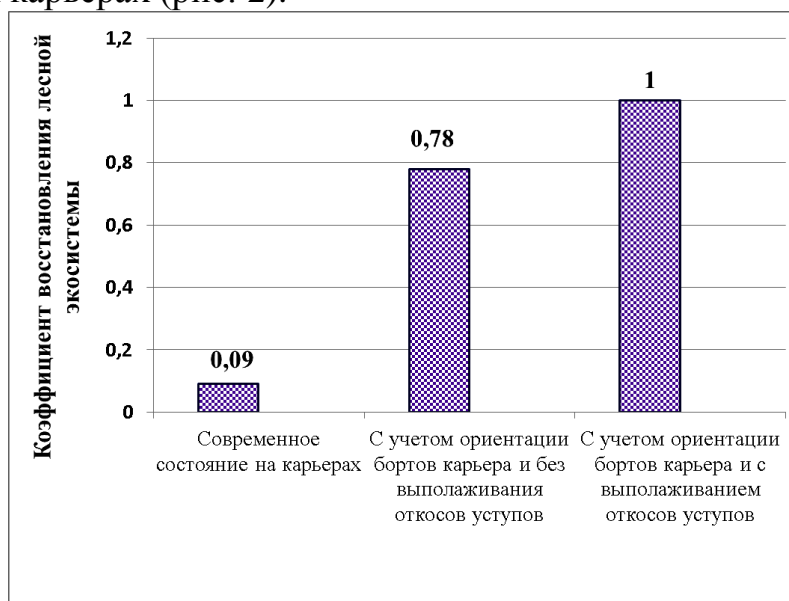


Рис. 2. Показатели восстановления лесной экосистемы в щебеночных карьерах по альтернативным вариантам их разработки

Нанесенный рекультивационный слой, как показывает практика, является именно тем катализатором, при нанесении которого на элементы нерабочих бортов карьеров, обеспечивается приживаемость и приемлемые темпы развития растительных экосистем. Вторым вариантом разработки карьеров предусмотрены три направления повышения экологизации горных работ на щебеночных карьерах: ориентация карьерной выработки относительно сторон света, обеспечивающая максимальный коэффициент лесовосстановления; выколаживание углов откосов уступов до 21-24°; нанесение на горизонтальные площадки и откосы уступов смеси из почвенных слоев и четвертичных отложений, обладающей достаточной продуктивностью. Именно по этому варианту производства горных работ и горнотехнического этапа рекультивации земель обеспечивается максимальный коэффициент естественного восстановления лесной экосистемы в каждом карьере (рис. 2). Принципы и рабочие процессы, составляющие комплекс горных работ по последнему варианту, достаточно детально изложены в журнале «Экология и промышленность России» в 2014-2016 гг.

В заключении отметим, что формируемое научно-практическое направление в области экологизации горного производства на щебеночных карьерах позволит с позиции устойчивого развития эффективно заниматься разработкой месторождений общераспространенных полезных ископаемых. Наши разработки направлены именно на повышение экологизации открытых горных работ, когда подготовка рельефа горнопромышленного ландшафта в карьерной выработке, архитектура которого будет спо-

способствовать ускоренному появлению и приемлемым темпам естественного восстановления лесных экосистем на уровне показателей лесов, находящихся в естественно природном состоянии заканчивается в момент остановки горных работ. Кроме того, доказано, что при выполнении комплекса этих работ существует реальная возможность снижения расходов на эти мероприятия с параллельным уменьшением техногенной нагрузки на окружающую природную среду.

Список литературы

1. Ильин С.А., Коваленко В.С., Пастихин Д.В. Преодоление изначальных недостатков открытого способа разработки: опыт и результаты // Горный журнал. 2012. № 4. С. 25-32.
2. Ильин С.А., Коваленко В.С., Пастихин Д.В. Сибирь как перспективный полигон для освоения минеральных ресурсов открытым способом // Горный журнал. 2013. № 3. С. 63-67.
3. Куприянов А.Н., Манаков Ю.А., Баранник Л.П. Восстановление экосистем на отвалах горнодобывающей промышленности Кузбасса // Новосибирск: Академическое изд-во «Гео». 2010. 160 с.
4. 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.
5. 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.
6. Фомин, С.И., Фауль, А.А. Способы снижения экологической нагрузки на горнодобывающие регионы // Записки Горного института. 2013. Т. 203. С. 215-219.
7. E. Madejón, A. I. Doronila, J. T. Sanchez-Palacios, P. Madejón and A. J. M. Baker / Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) and Biosolids Enhance the Growth of a Native Australian Grass on Sulphidic Gold Mine Tailings // Restoration Ecology, 2010, V. 18(S1), P. 175-183.
8. Rodolfo Gentili, Sergio Sgorbati and Carlo Baroni / Plant Species Patterns and Restoration Perspectives in the Highly Disturbed Environment of the Carrara Marble Quarries (Apuan Alps, Italy) // Restoration Ecology, 2011, V. 19(101), P. 32-42.
9. Carla R. Ribas, Fernando A.Schmidt, Ricardo R.C. Solar, Renata B.F. Campos, Clarisse L. Valentim and José H. Schoederer / Ants as Indicators of the Success of Rehabilitation Efforts in Deposits of Gold Mining Tailings // Restoration Ecology, 2012, V. 20(6), P. 712-720.