Экология и промышленность России № 10 2018 СТАТЬЯ 3

Информационное обеспечение дистанционного мониторинга экологии нарушенных земель при открытой разработке Ирбинской группы железорудных месторождений

Зеньков Игорь Владимирович, доктор технических наук, Заслуженный эколог РФ, СКТБ Наука ИВТ СО РАН, профессор Сибирский государственный университет науки и технологий им. академика М.Ф. Решетнёва (г. Красноярск)

Ганиева Ирина Александровна, ректор, доктор экономических наук, Кемеровский государственный сельскохозяйственный институт, (г. Кемерово)

Андроханов Владимир Алексеевич, зам. директора Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, доктор биологических наук (г. Новосибирск)

Раевич Ксения Владиславовна, кандидат технических наук, доцент, Сибирский федеральный университет (г. Красноярск)

Юронен Юрий Павлович, доцент, кандидат технических наук, Сибирский государственный университет науки и технологий им. академика М.Ф. Решетнёва (г. Красноярск)

Лукичев Михаил Юрьевич, кандидат экономических наук, доцент, Сибирский государственный университет науки и технологий им. академика М.Ф. Решетнёва (г. Красноярск)

Вокин Владимир Николаевич, кандидат технических наук, профессор, Сибирский федеральный университет (г. Красноярск)

На территории Красноярского края во второй половине XX в. параллельно с добычей железной руды на месторождениях Краснокаменской группы производилась открытая разработка трех железорудных месторождений Ирбинской группы (рис. 1). Все месторождения территориально расположены в Курагинском районе в 33 км на юго-запад от г. Краснокаменска. Добыча и обогащение железной руды на Основной железорудной залежи Ирбинской группы началась в 1974 г. К 2010 г. запасы, пригодные для открытой разработки были полностью отработаны.

С позиции геологического строения Ирбинское месторождение относят к контактово-метасоматическому типу силурийского возраста. Рудная зона субмеридиального простирания и западного падения (35–65^0) включает пироксен-гранатовые скарны, метасоматиты, блоки вмещающих пород, рудные залежи и простирается на 8 км при ширине от 80 до 600 м и мощности до 500 м. Выходы рудных тел на поверхность перекрыты рыхлыми отложениями мезозой-кайнозоя мощностью до 20 м. Главный рудный минерал – магнетит, также присутствуют мушкетовит, гематит, лимонит, пирит, халькопирит и др. Запасы руды (балансовые) составляли 60 млн. т при среднем содержании железа 37,3 % [1].

Бурлукское скарново-железорудное месторождение было открыто в 1954 г. при проведении магнитной съемки масштаба 1:25000. Бурлукское месторождение приурочено к северному экзоконтакту Кордовского массива ольховского комплекса. Среднее содержание железа валового 37,37–44,35 %. Основные рудные минералы: магнетит, мартит, гематит, мушкетовит, пирит, пирротин. В руде присутствуют как полезные компоненты – кобальт 0,012 %, никель 0,007 %, так и вредные примеси – сера до 1,8 %. Запасы с категорией В+С1 были оценены в объеме более 30 млн т.

Изыгское месторождение приурочено к южному эндо-экзоконтакту Кордовского массива ольховского комплекса с карбонатно-терригенными породами нижнего кембрия. Среднее содержание железа в руде находилось на уровне 43,4 %. Основные рудные мине-

ралы: магнетит, гематит, мартит, гидрогематит, лимонит, пирит. Запасы этого месторождения с категорией В+С1 оценены в объеме около 4,0 млн. т.

Рис. 1. Фрагмент космоснимка с расположением месторождений железной руды Ирбинской группы

Вскрытие всех месторождений производилось капитальными траншеями внешнего заложения для использования автомобильного транспорта. Система разработки – двухбортовая, углубочная с разноской бортов карьера по всему периметру. Проектом принято размещение вскрышных пород во внешних отвалах. Глубина разработки с учетом нагорной части до 150 м. Для уменьшения потерь и разубоживания в блоках со сложным строением применялась раздельная выемка прослоев руды и породы. На карьерах использовали буровые станки СБШ-250, экскаваторы ЭКГ-5А в комплексе с БелАЗами грузоподъемностью 30–40 т. Годовая добыча руды в 1983 г. составила 2,5 млн. т. Извлечение руды составляло 94,1 %. Обогащение производилось путем дробления руды и сухой магнитной сепарации.

В исследованиях современного экологического состояния нарушенных земель на месторождениях Ирбинской группы выделены карьерные выемки с присвоением им условных названий: на Основной рудной залежи – карьеры «Ирбинский Северный», «Ирбинский Южный», на Бурлукском – «Журавлево», на Изыгском – «Курский». Строительство карьера «Журавлево» началось в 2002 г., а в 2003 началась добыча железной руды, которая за-

кончилась в 2012 г. Строительство карьера «Курский» началось в 2009 г., а добыча руды завершена в 2012 г. [2]

Экологическое состояние горнопромышленных ландшафтов на отработанных железорудных месторождениях Ирбинской группы, оценено с использованием разновременных ресурсов дистанционного зондирования Земли. Информационная основа дистанционного мониторинга представлена в виде блок-схемы сбора показателей по всем объектам горнопромышленного ландшафта, в ходе образования которого отчуждались участки природных ландшафтов (рис. 2). Информационная база имеет иерархическую структуру, построенную по принципу от показателей единичных объектов к показателям, имеющим агрегатное происхождение. На первом этапе (I уровень) выделены отдельные объекты горнопромышленного ландшафта – карьерные выемки и отвалы, а также хранилища отходов обогащения железной руды (рис. 2). По ним определяют их качественные и количественные показатели.

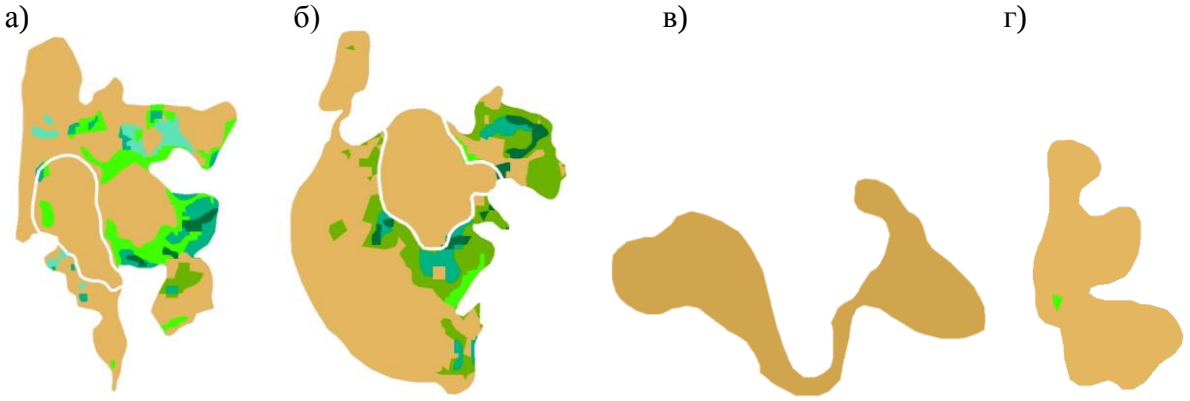
Рис. 2. Блок-схема информационного обеспечения мониторинга нарушенных земель для группы разрабатываемых (отработанных) месторождений

На рис. 2 условными обозначениями с $К_1$ по $К_N$ показаны карьеры, а с $О_1$ по $О_N$ – породные отвалы. На втором этапе (II уровень) определяют показатели объектов горнопромышленного ландшафта на каждом месторождении, входящем в группу. На последнем эта-

пе производится расчет агрегатов, численно отражающих показатели группы месторождений путем суммирования показателей по каждому отдельно взятому месторождению.

Для пространственно-временного анализа динамики восстановления растительного покрова на породных отвалах и карьерах были использованы снимки со спутников Landsat 5 и 8 за период с 1999 г по 2016 г. Для определения типов растительности использовались спектральные данные, полученные в ближнем инфракрасном, красном и зеленом диапазонах длин волн, что соответствует комбинации каналов RGB 4 3 2 для Landsat 5 TM и RGB 5 4 3 для Landsat 8 OLI. Выбор этих каналов в Landsat 5 TM и Landsat 8 OLI обоснован значительным отличием в спектральной отражательной способности у разных типов растительности. Для выделения разных типов горнопромышленного ландшафта, определения структуры земель и их площадных характеристик использовался программный пакет ArcGIS.

Результаты обработки космоснимков с изображением исследуемых объектов мы представили ниже при продвижении по территории, прилегающей к отработанным участкам месторождений, в направлении с севера на юг и с запада на восток.



– техногенные водоемы; – участки без растительного покрова; – участки под смешанным лесом; – участки с молодым смешанным лесом; – участки с травянисто-кустарниковой растительностью; – участки с травянистой растительностью; – участки с признаками восстановления растительного покрова

Рис. 3. Фрагмент космоснимка с результатами дешифрирования поверхности горнопромышленного ландшафта на отработанных железорудных месторождениях Ирбинской группы: а – карьер «Ирбинский Северный» (1999 г.); б – карьер «Ирбинский Южный» (1999 г.); в – карьер «Журавлево» (2006 г.); г – карьер «Курский» (2011 г.)

По окончании горных работ на всех отработанных карьерах, производящих добычу железной руды на всех месторождениях Ирбинской группы, начинается их интенсивное заполнение водой в виде атмосферных осадков и из подземных водоносных слоев, разгружающихся в нерабочих бортах карьеров.

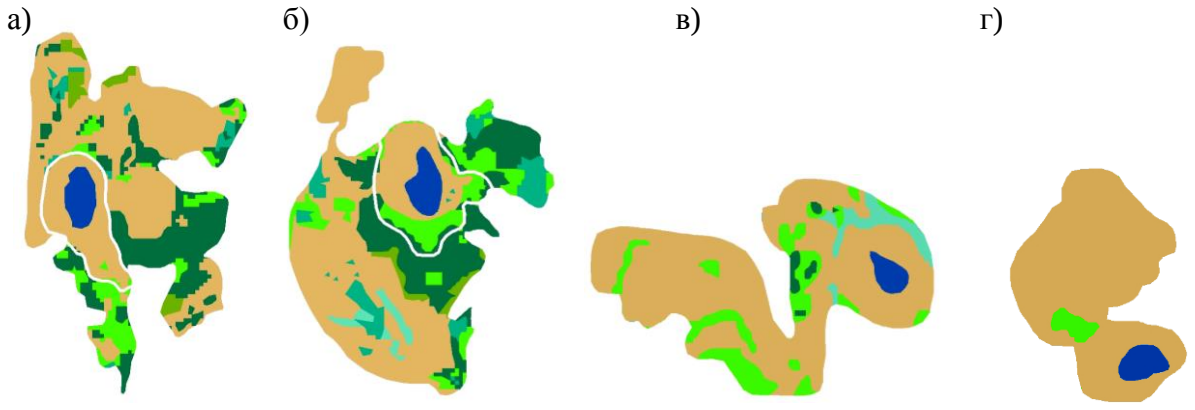


Рис. 4. Фрагмент космоснимка с результатами дешифрирования поверхности горнопромышленного ландшафта на отработанных железорудных месторождениях Ирбинской группы (июль 2016 г.): а – карьер «Ирбинский Северный»; б – карьер «Ирбинский Южный»; в – карьер «Журавлево»; г – карьер «Курский»

В изменении площади участков с выявленными категориями ландшафта на территории карьера «Ирбинский Северный» выявлены следующие тренды за период с 1999 по 2017 г. Установлено, что суммарная площадь карьерной выемки карьера «Ирбинский Северный» на протяжении исследуемого периода находилась на стабильном неизменном уровне 38,7 га. Вместе с тем площадь участков без растительного покрова ежегодно сокращалась с 36,2 до 28 га. Параллельно с этим площадь участков с травянистой растительностью в период с 1999 по 2007 г. сокращается в 10 раз с 2,0 до 0,2 га. С 2008 г. их площадь начинает увеличиваться до 1,6 га. В изменении площади участков с признаками восстановления растительного покрова наблюдается ее увеличение с 0,1 га в начале исследуемого периода до 0,4 га в 2011 году. Далее с 2011 г. следует ежегодное уменьшение площади этих участков до нуля в 2017 г.

На территории карьерной выемки в 1999 г. находились небольшие по площади участки с молодым смешанным лесом общей площадью 0,4 га. Площадь этих участков увеличивается к 2005 году до 0,7 га, а затем следует ее снижение до 0,2 га в 2017 году. Молодая поросль, развиваясь, переходит в категорию «хорошо развитый смешанный лес». Площадь участков со смешанным лесом в 2007 г. составляет всего лишь 0,1 га. К 2011 г. их площадь увеличивается до 0,5 га с дальнейшим постоянством до 2017 г.

К 2017 г. суммарная площадь участков со всеми видами растительного покрова составляет 2,3 га, что является показателем экологически неприемлемым. Кроме растительного покрова, в карьерной выемке формируется техногенный водоем, начиная с 2012 года. В 2017 г. его площадь достигла размера 9,7 га.

Тренды в изменении площади участков с установленными категориями ландшафта на породных отвалах, отсыпанных вскрышными породами из карьера «Ирбинский Северный», были получены с использованием разновременных ресурсов ДЗЗ. Суммарная площадь породных отвалов карьера «Ирбинский Северный» в исследуемом периоде ежегодно увеличивалась небольшими темпами с 205,2 до 218,3 га. Площадь участков с травянистой растительностью сокращается в три раза с 28,5 в 1999 г. до 9,4 га в 2007 г. Далее, с 2008 года наблюдается увеличение площади до 22,7 га к 2017 году.

В изменении площади участков, на которых выявлены признаки восстановления растительного покрова, наблюдается чередование двух понижательных и одного повышательного тренда. Так, площадь этих участков в начале периода (1999 г.) составляла 9,6 га. К 2005 г. зафиксировано ее снижение до 4,2 га. Далее, к 2011 году их площадь увеличивается до 13,4 га, а в 2017 году участки с этой категорией полностью отсутствуют.

С наличием участков с молодым и хорошо развитым смешанным лесом, в отличие от карьерной выемки, на территории породных отвалов наблюдается совершенно иная картина, охарактеризованная нами как позитивная. В начале периода мониторинга на отвалах выявлены участки с молодым смешанным лесом общей площадью 14,6 га и хорошо развитым лесом площадью 3,5 га. Площадь участков с молодой порослью к 2007 г. увеличивается более чем в два раза до 31,5 га, а затем уменьшается до 4,7 га в 2017 г. Площадь участков с хорошо развитым лесом увеличивается в исследуемом периоде в 17,5 раз до 61,4 га. В начале периода мониторинга на территории породных отвалов также имелись участки с травянисто-кустарниковой растительностью, площадь которых составляла 4,3 га. К 2007 г. ее площадь уменьшилась до нуля, а в 2017 г. опять появляются аналогичные участки на площади 10,2 га.

Таким образом, в 2017 г. площадь участков со всеми видами растительного покрова составляла 99 га, что является, несомненно, высоким показателем восстановления экологического баланса. Темпы восстановления всех видов растительного покрова на поверхности этих породных отвалов составляют 2,14 га в год.

Площадь карьера «Ирбинский Южный» на протяжении исследуемого периода находилась на стабильном уровне 50,8 га. Вместе с тем площадь участков без растительного покрова ежегодно сокращалась с 50 до 22 га. Параллельно с этим площадь участков с травянистой растительностью в период с 1999 по 2005 г. уменьшилась с 0,2 га до нуля. С 2006 года их площадь начинает увеличиваться до 12 га в 2017 г. В изменении площади участков с признаками восстановления растительного покрова наблюдается ее увеличение, начиная с 2004 года до уровня 10,6 га к 2011 г. В дальнейшем их площадь сократилась до нуля.

На территории этой карьерной выемки в 1999 г. находятся небольшие по площади участки с молодым смешанным лесом общей площадью 0,1 га. Площадь этих участков увеличивается к 2011 г. до 4,2 га, а затем следует ее снижение до 1 га в 2017 г. Молодая поросль, развиваясь, переходит в категорию «хорошо развитый смешанный лес». Площадь участков со смешанным лесом в 1999 г. составляет всего лишь 0,3 га. К 2017 г. их площадь увеличивается до 7,1 га. В 2017 г. суммарная площадь участков со всеми видами растительного покрова составляет 20,1 га, что значительно выше уровня аналогичного показателя карьера «Ирбинский Северный». Параллельно с развитием растительного покрова в этой карьерной выемке формируется техногенный водоем, начиная с 2011 г. В 2017 г. его площадь достигла размера 8,7 га.

Суммарная площадь породных отвалов карьера «Ирбинский Южный» в исследуемом периоде ежегодно увеличивалась небольшими темпами с 208,1 до 211,2 га. Площадь участков с травянистой растительностью постоянно увеличилась с 3,8 в 1999 г. до 23 га в 2017 г. В изменении площади участков, на которых выявлены признаки восстановления растительного покрова, наблюдается ее увеличение с нуля в 1999 г. до 13,5 га в 2011 г. Далее происходило ее уменьшение до 3,9 га в 2017 г. С наличием участков с молодым и хорошо развитым смешанным лесом на территории этих породных отвалов наблюдается схожая картина с отвалами карьера «Ирбинский Северный». В начале периода мониторинга на отвалах выявлены участки с молодым смешанным лесом общей площадью 10,6 га и хорошо развитым лесом площадью 6,5 га. Площадь участков с молодой порослью к 2005 г. увеличилась более чем в 2,5 раза до 28,3 га, а затем сократилась до 7,1 га в 2011 г. Затем уровень этого показателя возрос до 22,1 га в 2017 г. Площадь участков с хорошо развитым лесом увеличилась в исследуемом периоде в 8,6 раза до значения 56 га.

В начале периода мониторинга на территории породных отвалов также имелись участки с травянисто-кустарниковой растительностью, площадь которых составляла 44,3 га. К 2007 г. их площадь заметно сократилась до 12,8 га. Далее это значение увеличилось до 14,8 га в 2011 г. В 2017 г. травянисто-кустарниковая растительность занимала площадь 3,4 га. Таким образом, в 2017 г. площадь участков со всеми видами растительного покрова составляла 108,4 га, что является высоким показателем восстановления экологического баланса. Темпы восстановления всех видов растительного покрова на поверхности этих породных отвалов составили 2,4 га в год.

Горнопромышленный ландшафт, образованный в результате добычи руды на карьере «Журавлево», который находится в 20 км на северо-восток от основной рудной залежи, состоит из отработанной карьерной выемки и внешнего породного отвала. Установлено, что суммарная площадь карьера «Журавлево» и породного отвала за исследуемый пе-

риод 2006-2017 гг. ежегодно увеличивалась с 44,4 до 125,1 га. Площадь участков с травянистой растительностью за этот период увеличивается практически с нуля до 18,9 га. Среднегодовой темп увеличения площади этих участков составил 1,58 га/год.

В начале исследуемого периода на территории горнопромышленного ландшафта участков с признаками восстановления растительного покрова не наблюдается. Далее, к 2011 г. их площадь составляет 8,3 га, а к 2017 – снижается до 6,3 га. Постепенно эти участки переходят в категорию «участки с травянистой растительностью», что отмечено на графике соответствующим изменением в кривой, показывающей динамику площади участков с травянистым покровом. Отметим, что к 2011 г. на исследуемой территории появилась молодая поросль смешанного леса на площади 2,8 га. Далее на этих участках молодая поросль, развиваясь экологически приемлемыми темпами, довольно быстро переходит в категорию «участки с хорошо развитым смешанным лесом». В 2017 г. на территории участки с хорошо развитым лесом занимают площадь 2,5 га, а участки с молодой порослью – 0,3 га. Таким образом, к 2017 г. суммарная площадь участков со всеми видами растительного покрова составила 27,3 га.

Кроме этого, в карьерной выемке после окончания горных работ и демонтажа механизмов на главном карьерной водоотливе начинает формироваться техногенный водоем, площадь которого в 2017 г. составляла 3 га. По нашей оценке коэффициент самовосстановления растительного покрова находится на уровне 0,22, что для условий, когда горные работы остановлены 5 лет назад и специальные работы по рекультивации нарушенных земель не проводились, является, несомненно, экологически приемлемым показателем.

Отметим что на территории горнопромышленного ландшафта, образованного в ходе добычи железной руды на карьере «Курский», к 2018 г. произошло частичное восстановление экологического баланса, которое можно считать позитивным, учитывая тот фактор, что горные работы остановлены сравнительно недавно. На этом карьере суммарная площадь участков без растительного покрова составляет 95,8 % от площади нарушенных земель.

Проанализировав структуру нарушенных земель и восстановленной экосистемы на территории горнопромышленных ландшафтов, образованных в ходе разработки месторождений железной руды, структурно входящих в Ирбинскую группу представим основные выводы о состоянии экологического баланса на обследованной территории (рис. 5). Суммарная площадь нарушенных земель в виде отработанных карьерных выемок, породных отвалов и хранилища отходов обогащения железной руды составляет 687,6 га.

Коэффициент самовосстановления растительной экосистемы на поверхности объектов горнопромышленного ландшафта, образованного при разработке Ирбинской группы железорудных месторождений на территории Курагинского района Красноярского края находится на среднем уровне 0,403.

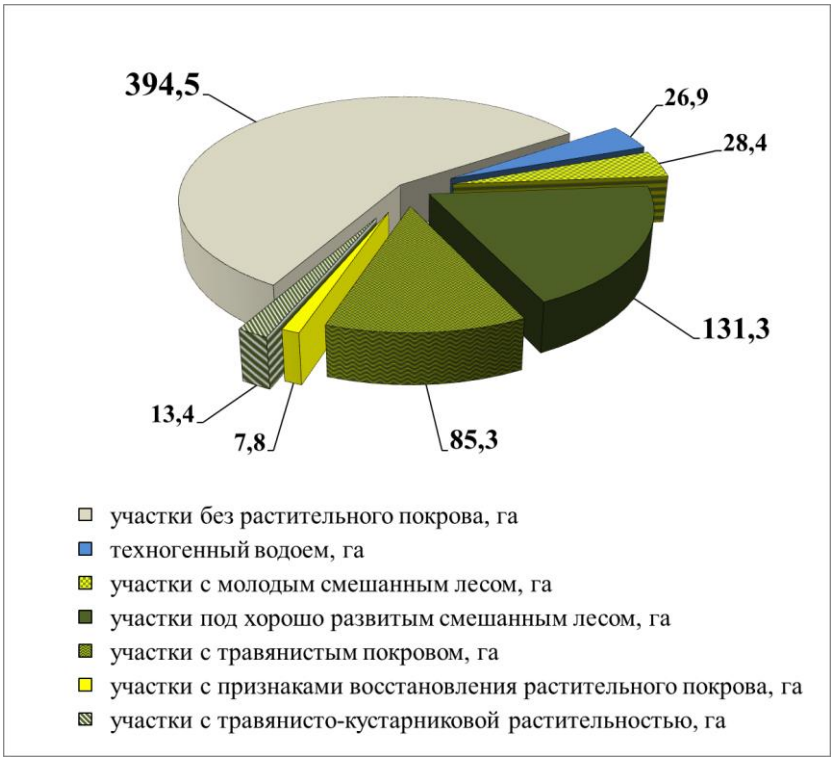


Рис. 5. Структура нарушенных земель и восстановленной экосистемы на объектах горнопромышленного ландшафта, сформированного при отработке месторождений железных руд, входящих в Ирбинскую группу в 2018 г.

Фактический уровень этого коэффициента объясняется основными причинами. С одной стороны, отсутствие работ по рекультивации нарушенных земель. С другой стороны – горные работы в карьерах остановлены и окончена отсыпка отвалов на разных объектах в интервале 5-10 лет назад. Вся хорошо развитая растительная экосистема находится на отвалах и в карьерах, где горные работы не производятся 15-20 лет назад и более. Вся территория отработанных месторождений географически находится на высотных отметках в среднем 450-520 м, т.е. на уровне высот природных ландшафтов, находящихся в непосредственной близости. Поэтому, семенам представителей древесно-кустарникового сообщества при их ветровом переносе будет проблематично закрепляться на поверхности объектов горнопромышленного ландшафта. Здесь, как и на территории нарушенных земель Краснокаменской группы, появление хорошо развитого растительного покрова на

объектах горнопромышленного ландшафта – есть результат естественного расселения аборигенных видов всех растительных ярусов.

Сплошной травянистый покров хорошо развит на разобщенных участках суммарной площадью 12,41 % от всей площади горнопромышленного ландшафта. Молодая поросль древесного яруса развита на разобщенных участках на поверхности породных отвалов и составляет 4,13 % исследуемой площади. Хорошо развитый лес к 2018 г. занимает участки суммарной площадью 131,3 га, что составляет 19,1 % площади нарушенных земель. Техногенные водоемы, сформированные во всех отработанных карьерных выработках, занимают площадь 26,9 га, что составляет 3,91 % от всей площади нарушенных земель. По нашей оценке, темпы восстановления всех видов растительного покрова на исследуемой территории за последние 12 лет на находились на уровне 10 га в год. Площадь участков, на которых происходит восстановление леса, увеличивается темпами в среднем 4,86 га в год. Принимая во внимание площадь участков без растительного покрова и темпы восстановления лесной экосистемы, определим период ее полного восстановления, равный 80 годам.

В заключении отметим темпы восстановления растительного покрова на территории исследуемой группы месторождений как сопоставимые с аналогичным показателем на территории земель, нарушенных при разработке Краснокаменской группы месторождений открытым способом. Именно, для нарушенных земель Ирбинской группы месторождений необходимо проведение работ по рекультивации нарушенных земель с высадкой саженцев деревьев темнохвойных пород. В этом случае временной период заселения отвалов и карьеров смешанным лесом может быть сокращен более чем в два раза до 30 лет.

Библиографический список

1. http://www.mining-enc.ru.

2. Зеньков И.В. и др. Железорудные карьеры России из космоса. Горные работы и экология нарушенных земель // Красноярск. Изд-во СФУ. 2018. 664 с.

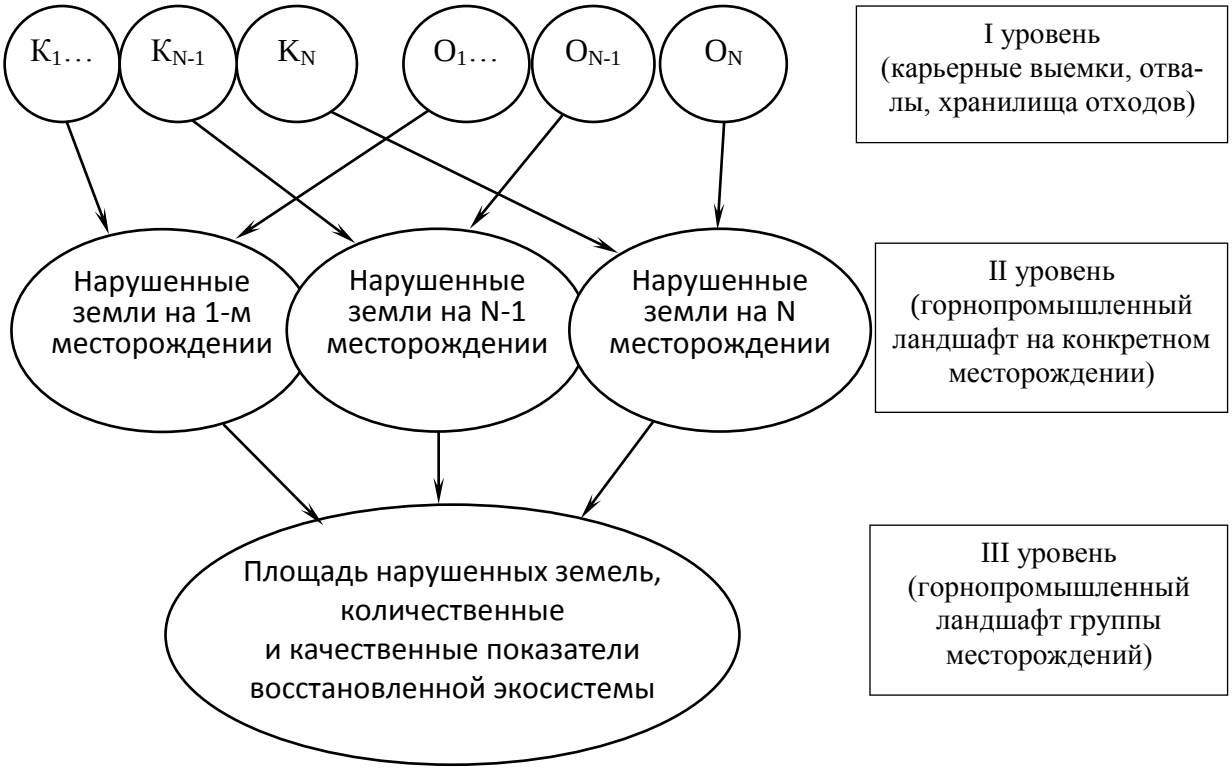
4. https://www.google.com/earth/. [Электронный ресурс]. (дата обращения 02.09.2017).

5. https://ru.wikipedia.org/wiki. [Электронный ресурс]. (дата обращения 02.09.2017).

6. https://earthexplorer.usgs.gov/. [Электронный ресурс]. (дата обращения 17.10.2017).

Ключевые слова: Красноярский край, Ирбинская группа железорудных месторождений, открытые горные работы, дистанционное зондирование Земли, долговременный космический мониторинг, карьерные выемки, породные отвалы, растительная экосистема, техногенные водоемы.

Аннотация. ***Аннотация.*** На территории Курагинского района Красноярского края более 45 лет открытым способом производили разработку трех железорудных месторождений, входящих в Ирбинскую группу. В результате на территории площадью 687,6 га образован горнопромышленный ландшафт, представленный карьерными выемками и внешними породными отвалами. По результатам дистанционного мониторинга установлены темпы формирования растительной экосистемы на уровне 10 га в год. Временной период полного восстановления смешанного леса может составить в условиях горно-таежной местности Восточного Саяна 80 лет. Сделан вывод о том, что для ускорения полного восстановления лесной экосистемы на территории нарушенных земель необходимо проведение работ по лесной рекультивации.


К1…
КN-1
КN
О1…
ОN-1
ОN
I уровень
(карьерные выемки, отвалы, хранилища отходов)
Нарушенные земли на 1-м месторождении
Нарушенные земли на N-1 месторождении
Нарушенные земли на N месторождении
II уровень
(горнопромышленный ландшафт на конкретном месторождении)
Площадь нарушенных земель, количественные и качественные показатели восстановленной экосистемы
III уровень
(горнопромышленный ландшафт группы месторождений)