

## Экология и промышленность России № 6 2017

### Инженерно-экологическое обоснование инновационных технологий природопользования на объектах топливно-энергетического комплекса Красноярского края с использованием ресурсов дистанционного зондирования

Зеньков Игорь Владимирович, доктор технических наук, Заслуженный эколог РФ, профессор ФГБУ ВО «Сибирский государственный аэрокосмический университет им. академика М.Ф. Решетнёва» (г. Красноярск)

Юронен Юрий Павлович, доцент, кандидат технических наук, ФГБУ ВО «Сибирский государственный аэрокосмический университет им. академика М.Ф. Решетнёва» (г. Красноярск)

Анищенко Юлия Анатольевна, доцент, кандидат экономических наук, ФГБУ ВО «Сибирский государственный аэрокосмический университет им. академика М.Ф. Решетнёва» (г. Красноярск)

Прохоров Виктор Владимирович, доцент, кандидат экономических наук, ФГБУ ВО «Сибирский государственный аэрокосмический университет им. академика М.Ф. Решетнёва» (г. Красноярск)

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

Кирюшина Елена Васильевна, доцент, кандидат технических наук, ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет» (г. Красноярск)

В Сибирском федеральном округе в промышленно развитых регионах производится добыча угля открытым способом и выработка тепловой и электрической энергии на тепловых станциях. Топливная составляющая ТЭК Красноярского края представлена 11 угольными разрезами. Годовой объем добычи угля на этих разрезах находится в диапазоне 34-36,0 млн. т. Большая часть объема добытого угля сжигается на месте, часть Канско-Ачинских углей отправляют по всей России.

Установленные мощности на ГРЭС и ТЭЦ Красноярского края составляют 6549 МВт, что почти вдвое выше суммарной мощности ТЭЦ в Иркутской области, а мощности по выработке тепловой энергии составляют 8437,4 Гкал/час.

Ежегодное сжигание угля на всех станциях края составляет 22-25,0 млн. т в зависимости от температуры воздуха в период отопительного сезона.

Согласно Российскому законодательству предприятия ТЭК края проводят большую работу по снижению техногенной нагрузки на окружающую природную среду. Вместе с тем, на наш взгляд, на всех объектах ТЭК недостаточно эффективно проводятся природоохранные мероприятия, поскольку не все резервы используются в повышении экологической эффективности промышленной деятельности предприятий ТЭК. В решении экологических задач успешно используют инструменты дистанционного зондирования Земли как российские, так и зарубежные специалисты-исследователи [1-2, 3-4, 8-9]. Рекультивации горнопромышленных ландшафтов на территории отработанных угольных разрезов большое внимание уделяют в Германии при масштабной добыче угля открытым способом [5-7].

Наш коллектив продолжает развивать научно-практическое направление в области решения вопросов экологии в топливно-энергетическом комплексе, горнодобывающей

промышленности, при этом широко используем результаты дистанционного зондирования Земли. В настоящей работе представлены результаты дистанционного горно-экологического мониторинга горнопромышленных ландшафтов, образованных в ходе добычи угля открытым способом. Кроме того, создана информационная база нарушенных земель под объектами тепловых станций – промышленными площадками, угольными складами, золошлаковыми накопителями. Дистанционное зондирование в решении наших задач применялось в двух случаях – получение информации о состоянии рекультивации на угольных разрезах края и при определении площади земель под инфраструктурными объектами энергетики.

Традиционно в Красноярском крае местами открытой угледобычи считаются месторождения в окрестностях гг. Шарыпово, Назарово, Бородино, Канск и др. В настоящее время в центральных районах края открытым способом разрабатывают 9 угольных месторождений марки Б2-Б3 и одно каменноугольное месторождение марки ДГ. На бурогольных месторождениях работают 10 разрезов: «Бородинский», «Березовский», «Назаровский», «Переясловский», «Ирбейский», «Сереульский», «Канский», «Абанский», «Балахтинский-Восток», «Балахтинский-Запад», и один разрез «Саяно-Партизанский» на месторождении с маркой угля ДГ.

Получить картину экологического состояния территорий с открытыми горными работами позволяет горно-экологический мониторинг, основанный на использовании космических технологий дистанционного зондирования природных экосистем. Космические снимки исследуемой территории, размещены на официальных сайтах: Global Land Cover Facility (GLCF); United States Geological Survey (USGS). В нашей работе использованы космические снимки Landsat 8. Выполнено их дешифрирование. Результаты восстановления экосистемы на горнопромышленных ландшафтах угольных разрезов представлены на космоснимках (рис. 1-3). Оттенками зеленого цвета показаны контуры растительных экосистем, синим цветом – техногенные водоемы, оттенками серого – породные отвалы без растительного покрова и черным цветом изображены угольные пласты, либо их остатки, не перекрытые сверху вскрышными породами.

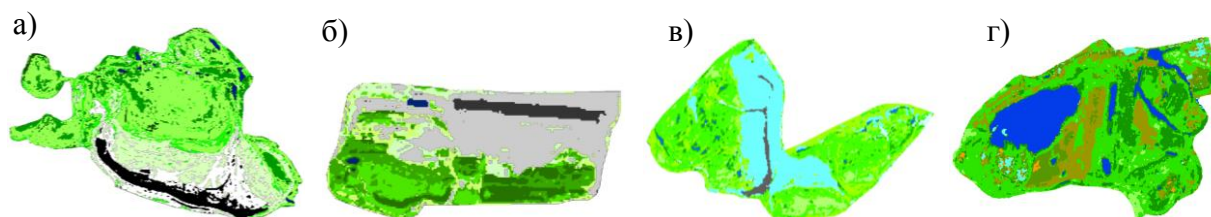


Рис. 1. Фрагменты космоснимков с границами горных работ и с выделением классов горнопромышленных ландшафтов: а – разрез «Бородинский»; б – разрез «Березовский»; в – разрез «Назаровский»; г – отработанное поле Назаровского месторождения

Анализ структуры нарушенных земель на разрезах «Бородинский», «Березовский», «Назаровский» и на отработанном поле Назаровского месторождения в 1950-1980-х гг. показал, что коэффициенты рекультивации и самовосстановления растительной экосистемы (суммарно) находятся соответственно на уровне 0,6; 0,56; 0,67 и 0,98.

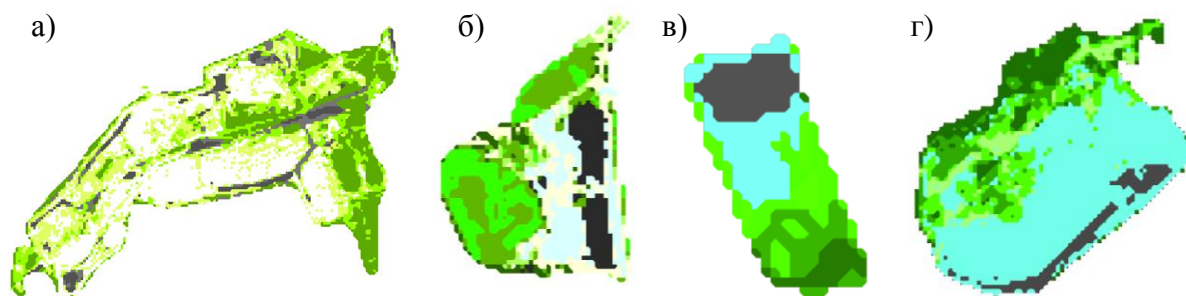


Рис. 2. Фрагменты космоснимков с границами горных работ и с выделением классов горнопромышленных ландшафтов: а – разрез «Переясловский»; б – разрез «Канский»; в – разрез «Абанский»; г – разрез «Ирбейский»

По результатам дешифрирования космоснимков, изображенных на рис. 2, также проведен анализ структуры нарушенных земель на разрезах «Переясловский», «Канский», «Абанский» и «Ирбейский», который показал, что коэффициенты рекультивации и самовосстановления растительной экосистемы (суммарно) находятся соответственно на уровне 0,33; 0,69, 0,54 и 0,42. Низкий коэффициент восстановления растительной экосистемы на разрезе «Переясловский» объясняется наличием большого количества добычных забоев, а также игнорированием в ретроспективном периоде технологических особенностей разработки горизонтальных угольных пластов.

Аналогичный анализ структуры нарушенных земель проведен по результатам дешифрирования космоснимков угольных разрезов «Сереульский», «Саяно-Партизанский», «Балахтинский-Запад» и «Балахтинский-Восток», который показал, что коэффициенты самовосстановления растительной экосистемы (работы по рекультивации на разрезах не проводились) находятся соответственно на уровне 0,52; 0,48, 0,15 и 0,34.

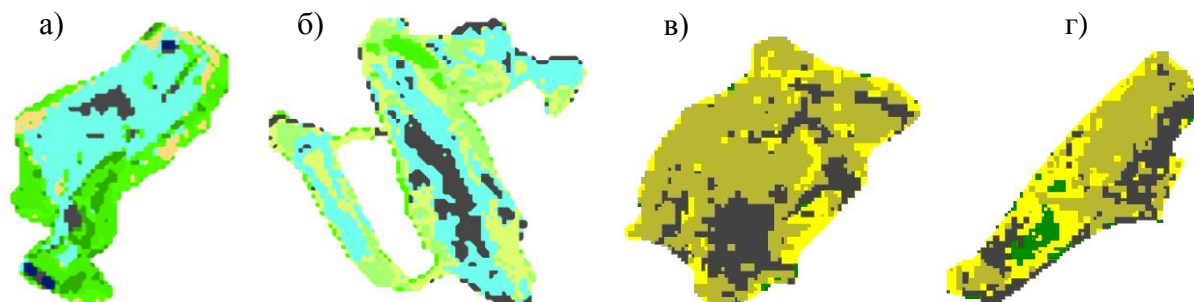


Рис. 3. Фрагменты космоснимков с границами горных работ и с выделением классов горнопромышленных ландшафтов: а – разрез «Сереульский»; б – разрез «Саяно-Партизанский»; в – разрез «Балахтинский-Запад»; г – разрез «Балахтинский-Восток»

За весь период разработки открытым способом угольных месторождений в Красноярском крае площадь нарушенных земель составила 10756 га. Структура земель под горными работами и восстановленной экосистемой (растительный покров и водоемы) в угледобывающем секторе ТЭК Красноярского края, установленная по результатам дистанционного зондирования в июле 2016 г. представлена на рис. 4.

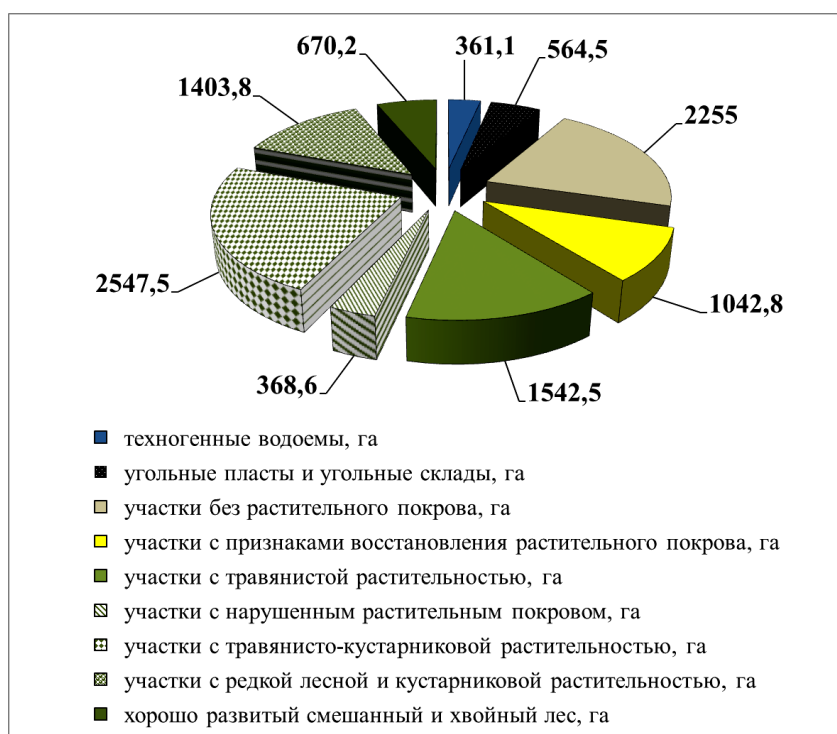


Рис. 4. Структура нарушенных и восстановленных земель в ходе разработки открытым способом угольных месторождений в Красноярском крае (июль, 2016 г.)

Исторически на Назаровском угольном месторождении фиксировались наиболее высокие темпы развития горных работ. На отработанных участках Назаровского угольного месторождения коэффициент рекультивации и самовосстановления растительного покрова составил 0,98. Это означает, что на разрозненных участках горнопромышленного ландшафта, суммарной площадью 98 % от всех нарушенных земель произошло восстановление экосистемы естественным, либо искусственным путем (рекультивация земель). На других угольных разрезах, в зависимости от подходов собственников разрезов к ведению горных работ, коэффициент восстановления экосистем (рекультивации) намного ниже и находится в диапазоне 0,15-0,69. При этом самый низкий коэффициент на уровне

0,15 отражает состояние экологии горных работ на разрезе «Балахтинский-Запад», а самый высокий на уровне 0,98 характеризует весьма наглядно восстановление буквально всех видов экосистем на протяжении последних пятидесяти лет на отработанном поле Назаровского бурогоугольного месторождения.

Суммарная площадь участков без растительного покрова, вскрытых угольных пластов и складов составила 2819,5 га. Коэффициент восстановления водной и растительной экосистемы по всем разрезам края составил 0,738, что является высоким показателем для условий Сибири. Отметим обстоятельство, связанное с выполнением работ по лесной рекультивации на разрезах «Березовский», «Бородинский» и «Назаровский» с высадкой саженцев сосны на породных отвалах, что несомненно сказалось на улучшении экологической обстановки в целом на территориях, прилегающих к горным отводам этих разрезов.

В ходе дистанционного мониторинга объектов энергетического сектора ТЭК края с использованием ресурсов [10, 11] определены площади промышленных площадок, угольных складов, золошлаковых накопителей тепловых станций на территории Красноярского края. В качестве примера на рис. 5 представлена компоновочная схема Березовской ГРЭС-1. На рис. 5а в правом его секторе находится разгрузочный пункт 14-километрового конвейера, по которому уголь из разреза «Березовский» транспортируют до тепловой станции. На рис. 5б в левом нижнем секторе хорошо просматривается площадка размещения золы и шлаков вне контуров золошлакового накопителя. Таким образом, на станции производят увеличение приемной емкости накопителя путем выемки, перемещения и складирования твердой фракции золошлаковой пульпы рядом с накопителем.



Рис. 5. Фрагменты угольной генерации Березовской ГРЭС-1:  
а) промышленная площадка ТЭЦ; б) золошлаковый накопитель

Структура земель, занятых объектами угольной генерации электрической и тепловой энергии Красноярского края представлена в таблице. Комплексный анализ состояния

использования, восстановления земель, задействованных в топливно-энергетическом комплексе края, позволяет сделать вывод о том, что на всех объектах имеется острая необходимость перехода на ресурсосберегающие экономически и экологически эффективные промышленные технологии в рекультивации нарушенных земель на угольных разрезах и при эксплуатации золошлаконакопителей на тепловых станциях.

Таблица

Земли промышленного назначения, используемые в угольной генерации  
Красноярского края

Название ТЭЦ	Площадь земель, га		
	промышленная площадка	угольный склад	золошлаковый накопитель
Ачинская ТЭЦ	49,7	6,3	95,0
Назаровская ГРЭС	126,2	3,2	86,2
Березовская ГРЭС-1	218,0	22,0	138,0
Красноярская ТЭЦ-1	35,0	5,0	82,0
Красноярская ТЭЦ-2	50,0	6,0	12,0
Красноярская ТЭЦ-3	144,0	6,0	46
Красноярская ТЭЦ-4 (г. Сосновоборск)	240,9	2,6	5,5
Красноярская ГРЭС-2 (ЗАТО, г. Зеленогорск)	84,4	5,6	126,0
Канская ТЭЦ	22,9	1,1	5,2
Минусинская ТЭЦ	62,6	3,5	36,5
Итого	1033,7	61,3	632,4

На всех без исключения угольных разрезах Красноярского края в проектах на их разработку имеются разделы по рекультивации нарушенных земель. Важным условием является снятие плодородного слоя почвы перед производством горных работ и нанесение его на поверхности породных отвалов. В основном это делается для того, чтобы в дальнейшем использовать поверхности породных отвалов в сельскохозяйственном производстве. Но, как оказалось, рекультивированные отвалы в агропромышленном комплексе никогда не были задействованы, и вряд ли в ближайшей и отдаленной перспективе будут использоваться в этом секторе реальной экономики. Вследствие этого на разрезах начинают приживаться технологии горных работ без снятия и нанесения почвенного слоя. На наш взгляд, такая ситуация является недопустимой с позиции восстановления экологического баланса.

Нашим коллективом разработаны технологии горнотехнической рекультивации при их совмещении с отработкой верхнего вскрышного уступа. Сущность комбинированных технологий детально изложена в работах [12]. В разработанной технологии рекультивации земель решено было оставить один рабочий процесс – снятие и укладка в бурты почвенного слоя в контурах вскрышных заходок по верхнему вскрышному уступу. Это обосновано с целью появления возможности селективной отработки экскаваторного забоя



и отдельной загрузки в транспортные средства смеси из четвертичных пород и почвенных слоев для ее нанесения на поверхности отвалов. Также отдельными слоями отсыпают породный отвал, в приповерхностный слой которого укладывается продуктивная смесь. Мощность последнего принимают равной 1,8-2,5 м. Практическая реализация этой технологии на трех угольных разрезах СУЭК Красноярск и двух разрезах: «Переясловском» и «Канском» позволит снизить затраты на рекультивацию нарушенных земель в размере 38-40 млн. руб. и на 90 % исключить эмиссию загрязняющих веществ в атмосферу при производстве работ по горнотехническому этапу рекультивации с использованием машин и механизмов с дизельными двигателями. В разработанной технологии рекультивации только один процесс (снятие почвенного слоя) выполняет бульдозер, а все остальные рабочие процессы выполняют карьерные экскаваторы экскаваторы, все силовые машины которых приводятся в движение электрической энергией.

На территории Красноярского края в ходе обследования золошлаковых накопителей крупных тепловых станций с угольной генерацией энергии (2011-2016 гг.) были выявлены экологические проблемы, имеющие место при их эксплуатации. Были также проанализированы направления использования золошлаковых материалов на территории края. Так, на Красноярской ГРЭС-2 совместно с администрацией ЗАТО г. Зеленогорска было реализовано направление использования золошлаковых материалов в качестве грунта для засыпки свалки отходов лесопиления и деревообработки неработающего деревообрабатывающего комбината, а также планировки рельефа на месте разрозненных неглубоких карьеров по добыче общераспространенных полезных ископаемых вблизи этой свалки. В результате за три года было перемещено не менее 250 тыс. м<sup>3</sup> сухих золошлаков. В итоге неправильно заданный уклон поверхности привел к возникновению оврагов, по которым водотоками зола и шлаки намываются на поверхность природного рельефа, находящегося по высоте ниже поверхности золошлакового отвала [14]. Надо отметить, что реализация этого проекта потребовала значительных финансовых ресурсов в размере 100,0 млн. руб. К тому же работа механизмов и автосамосвалов с дизельными двигателями мощностью 300-400 л.с. при расстоянии транспортирования золошлаков от ГРЭС-2 до места свалки 25 км привела к существенной эмиссии загрязняющих веществ в атмосферу.

С целью устранения таких проблем и для дальнейшей эффективной эксплуатации золошлаковых накопителей созданы и обоснованы ресурсосберегающие экологически и экономически эффективные промышленные технологии [15]. При обосновании последних решено отказаться от строительства котлованов в теле золошлакового накопителя. Также было решено отказаться от строительства ограждающих дамб из привозных грунтов из месторождений общераспространенных полезных ископаемых, разрабатываемых в само-

стоятельных карьерах. Предложено формировать секции для слива золошлаковой пульпы размерами в плане 150×300-400 м. Объем одной секции определяется высотой ограждающих дамб с четырех сторон и объемом траншеи трапециевидного сечения, создаваемой гидравлическим экскаватором типа «обратная лопата» с ковшом 1,5-2,0 м<sup>3</sup> в теле золошлакового накопителя. Производительность гидравлического экскаватора в условиях разработки осажденных твердых фракций золы и шлака составляет 1000-1100 м<sup>3</sup> за 12-часовую рабочую смену. Траншеи при отсыпке ограждающих дамб секций проходят по периметру накопителя и внутри него вдоль контура зеркала пруда-отстойника (находится в центре накопителя) на расстоянии от кромки водного зеркала, позволяющем в безопасном режиме производить экскаваторные работы по выемке золы и шлаков. Объем формируемых секций позволяет размещать объем твердой фракции золошлаковой пульпы из расчета работы тепловой станции в течение 4-6 месяцев. По окончании экскаваторных работ на поверхности ограждающих дамб укладывают и монтируют золопровод из стальных труб диаметром 429 мм, далее начинают слив золошлаковой пульпы.

Оценить эффективность альтернативных технологий эксплуатации золошлаковых накопителей предложено определением и сравнением трех показателей. Технологический показатель рассчитывается отношением объема твердой фракции пульпы, размещаемой в секции к объему работ по строительству емкости для ее размещения. По технологиям с проходкой траншей в теле накопителя данный показатель в 5 раз больше показателя технологии со строительством котлованов. Экономический показатель характеризует затраты на создание одного кубического метра приемной емкости секции/котлована. Он определяется в виде отношения суммарных затрат на строительство приемной емкости известного объема к объему твердой фракции пульпы, размещаемой в этой приемной емкости. Удельные затраты на формирование приемной емкости по авторской технологии составляют 4,1 руб/м<sup>3</sup>, а удельные затраты на строительство котлованов составляют 82 руб/м<sup>3</sup>. В сравнении с вариантом строительства ограждающих дамб из четвертичных отложений, разрабатываемых в самостоятельных карьерах, где удельные затраты составят не менее 260 руб/м<sup>3</sup>, вариант, разработанный авторами экономичнее в 63 раза. Экологический показатель характеризует объем эмиссии вредных веществ в окружающую природную среду. Наши расчеты показывают, что объем выброса загрязняющих веществ по авторской технологии ниже в 30 раз, в сравнении с технологиями строительства котлованов и в 90 раз – относительно вариант строительства дамб из привозного грунта. Для тепловых станций Красноярского края затраты на реализацию технологий составят 5,1, 102 и 324 млн. руб соответственно по предлагаемой технологии, по технологии со строительством котлованов и вариантом строительства дамб из привозных грунтов.



Таким образом, в ходе обследования двадцати одного объекта ТЭК Красноярского края с использованием результатов дистанционного зондирования установлено, что на всех объектах имеются резервы и необходимость для внедрения ресурсосберегающих, экологически и экономически эффективных промышленных технологий, как в рекультивации нарушенных земель в угледобывающем секторе, так и в эксплуатации золошлаковых накопителей тепловых станций в энергетическом секторе ТЭК. Отдельной строкой отметим, что экономия средств в формате одного календарного года составит 310-320 млн. руб с одновременным весьма значительным снижением эмиссии загрязняющих атмосферу веществ в 60-90 раз.

#### Литература

1. Алешечкин А. М. и др. Разработка навигационного фильтра для повышения точности определения координат точек тепловизионных изображений при дистанционной диагностике воздушных линий электропередачи // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М.Ф. Решетнева, 2013, № 1. С. 7-10.
2. Антамошкина О.А. и др. Мониторинг состояния растительного покрова зоны охвата мачты ZOTTO по данным дистанционного зондирования // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М.Ф. Решетнева. 2015. № 4. С. 814-818.
3. Abdullah Meshal M., Feagin Rusty A., Musawi Layla, Whisenant Steven, Popescu Sorin / The use of remote sensing to develop a site history for restoration planning in an arid landscape // Restoration Ecology. 2016. V. 24(1), P. 91-99.
4. Borrelle Stephanie B., Buxton Rachel T., Jones Holly P., Towns David R. / A GIS-based decision-making approach for prioritizing seabird management following predator eradication // Restoration Ecology. 2015. V. 23(5). P. 580-587.
5. Knapp Sonja, Gerth André, Stefan Klotz / Sustainable recultivation and wastewater treatment in Vietnamese coal mining // World of Mining – Surface & Underground, 2012, V. 64 (4), P. 253-263.
6. Pulz Karina / Meeting the challenges and implementing the management objectives of lignite mining rehabilitation // World of Mining – Surface & Underground, 2014, V. 66(3), P. 153-159.
7. Rolf Petri, Stein Werner, Dahmen Dieter, Buschhüt Klaus / Sustainable follow-up use of recultivated surfaces // World of Mining – Surface & Underground, 2013, V. 65 (2), P. 92-101.
8. Shoo P. Luke, Scarth Peter, Schmidt Susanne, Wilson A. Kerrie / Reclaiming Degraded Rainforest: A Spatial Evaluation of Gains and Losses in Subtropical Eastern Australia to Inform Future Investment in Restoration // Restoration Ecology. 2013. V. 21(4). P. 481-489.
9. Zweig Christa L., Newman Susan / Using landscape context to map invasive species with medium-resolution satellite imagery // Restoration Ecology. 2015. V. 23(5). P. 524-530.
10. <http://www.google.com/earth>.
11. <http://www.sibgenco.ru>.
12. Зеньков И.В. и др. Рекультивация нарушенных земель при переходе на новые технологии с учетом накопленных научно-практических знаний // Уголь. 2014. № 12. С. 100-104.
13. Зеньков И.В. и др. Технологии формирования рельефа породных отвалов для лесной рекультивации // Экология и промышленность России. 2015. № 10. С. 22-26.
14. Зеньков И.В. и др. Экологические проблемы при эксплуатации золошлаковых накопителей в топливно-энергетическом комплексе России // Экология и промышленность России. 2015. Т. 19, № 2. С. 24-28.

15. Зеньков И.В. и др. Ресурсосберегающие технологии эксплуатации золошлаковых накопителей тепловых электрических станций // Экология и промышленность России. 2015. Т. 19, № 2. С. 34-37.

*Ключевые слова:* дистанционное зондирование, топливно-энергетический комплекс, угольные разрезы, тепловые станции, рекультивация земель, золошлаковые накопители, экологическая эффективность

*Аннотация:* В статье приводятся результаты дистанционного зондирования состояния нарушенных земель объектов топливно-энергетического комплекса в Красноярском крае. Установлена структура нарушенных земель в ходе добычи угля открытым способом, а также земель тепловых станций, задействованных в угольной генерации тепловой и электрической энергии. Для угольных разрезов предложено использование технологий рекультивации нарушенных земель при совмещении вскрышных работ с горнотехническим этапом рекультивации, а для тепловых станций даны рекомендации по использованию технологий эксплуатации золошлаковых накопителей с одновременным снижением затрат на строительство ограждающих дамб и снижением эмиссии загрязняющих и вредных веществ в атмосферу при их строительстве.