

ГОРНАЯ ЭКОЛОГИЯ

УДК 622.014.3-62-519

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТЕХНОГЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ТЕРРИТОРИЮ РАЗМЕЩЕНИЯ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ ПО ОТВЕТНОЙ РЕАКЦИИ БИОТЫ

Г. В. Калабин

*Институт проблем комплексного освоения недр РАН,
E-mail: kalabin.g@gmail.com, Крюковский тупик, 4, 111020, г. Москва, Россия*

Обосновывается актуальность использования цифровых космических материалов на региональном и локальном уровне для оперативной количественной оценки состояния природной среды в зонах деятельности предприятий горнопромышленного комплекса. Приводятся и анализируются количественные экологические оценки техногенных воздействий во временном интервале по ответной реакции биоты на территории размещения нескольких горнодобывающих предприятий с различной производственной инфраструктурой.

Предприятия горнопромышленного комплекса, состояние растительного покрова, дистанционные методы, нормализованный дифференцированный вегетационный индекс, производственная инфраструктура

DOI: 10.15372/FTPRPI20180317

Важной экологической проблемой горнодобывающих регионов России является неадекватность методов и критериев, применяемых для оценки техногенных воздействий на природную среду. Крупномасштабное и часто необратимое воздействие горнопромышленных комплексов на все геосферы Земли может привести к возникновению техногенных экологических катастроф, выражающихся в полном уничтожении и масштабной деградации биоты природных экосистем (например, территории размещения ОАО “Карабашмедь”, ОАО “Североникель”, “ГМК Норникель”), а также в снижении продуктивности антропогенных экосистем сельскохозяйственного назначения (территория размещения горнодобывающих предприятий Курской магнитной аномалии). Минимизация риска подобных катастроф до биологически допустимого уровня и уменьшение последствий техногенного влияния горнодобывающих предприятий возможны только путем создания и массового применения горных технологий.

Фундаментальной основой развития этого направления при освоении недр служит достоверная информация о закономерностях развития дигрессивных и демутиационных процессов на всей площади техногенно изменяемых биологических систем, получить которую можно методами космического мониторинга состояния растительного покрова Земли [1 – 2]. Дистанционные методы зондирования Земли (ДЗЗ) позволяют получить необходимую экологическую информа-

цию с различным временным разрешением и в любом масштабе, проводить сравнение нынешних событий с прошлыми, используя накопленную за последние десятилетия и доступную в режиме онлайн обширную базу данных космических наблюдений. В результате открывается возможность для научного обоснования экологических требований и ограничений к применяемым геотехнологиям, обеспечивающим экологический баланс в районах добычи твердых полезных ископаемых. Выполнение ограничений экологического императива возможно за счет модернизации горнопромышленного комплекса на основе использования биогенных принципов конструирования применяемых геотехнологий.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

При исследовании состояния растительного покрова различных территорий размещения предприятий горнопромышленного комплекса установлено [3,4,], что объективным информативным показателем степени нарушенности территории является качественное состояние почвенного покрова, а критерием — динамика и тренды изменения объема биомассы, которые определялись с помощью методов ДЗЗ по значению нормализованного дифференцированного вегетационного индекса (NDVI) [1, 2, 5]. При этом нулевой тренд объема биомассы во времени свидетельствует о равновесии природно-техногенных сфер в целом для данной техногенной нагрузки, в климатических и биогеохимических условиях конкретного региона (рис. 1а). Отрицательный тренд демонстрирует процесс деградации окружающей среды (рис. 1б), положительный — наличие процесса восстановления растительного покрова за счет проявления сохранившегося природного потенциала территории (рис. 1в).

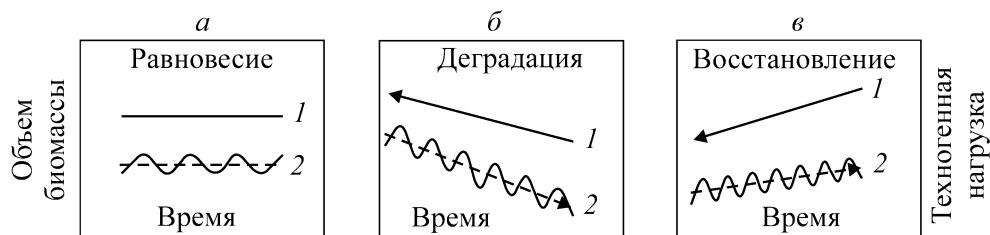


Рис. 1. Соотношение трендов техногенной нагрузки и объема биомассы: 1 — тренд техногенной нагрузки; 2 — тренд объема биомассы

На первом этапе выполнялось сопоставление изменения вегетационного индекса с оценкой фитотоксичности почв в зоне деятельности предприятий на различных расстояниях от источника загрязнения (импактная, буферная и условно-фоновая зоны). На втором этапе для изучаемых территорий устанавливались зависимости трендов изменения вегетационного индекса от величины техногенной нагрузки источника загрязнения природной окружающей среды конкретной территории и количественно определялся “отклик” биоты на изменение техногенной нагрузки в различных климатических условиях.

На третьем этапе методом группового анализа проводилась сравнительная оценка состояния растительного покрова (значения NDVI) исследуемых территорий в зависимости от сложности производственной инфраструктуры предприятий, их технических характеристик, природных и технологических условий и техногенных факторов. Кроме того, для количественной оценки потери растительности приводились значения индексов для условно-фоновой и импактной зон и их соотношения. В качестве объектов исследований выбраны предприятия горнопромышленного комплекса, расположенные в различных климатических зонах, с различной

производственной инфраструктурой, сроком эксплуатации месторождения, объемами производства и токсичностью исходного сырья: подземный рудник “Восток-2” ОАО “Приморский ГОК”, карьер золоторудного месторождения “Воронцовское” (ЗАО “Золото Северного Урала”, Свердловская область), Сорский ГОК (Хакасия), ОАО “Комбинат Североникель” (Мурманская область).

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

Горнодобывающие предприятия, имеющие простую производственную инфраструктуру (например, единичные подземный рудник или небольшой карьер) не относятся к числу кризисных объектов по фактору негативного воздействия на окружающую природную среду. Но в комбинации с комплексом обогащительных производств, а тем более металлургическими и теплоэнергетическими предприятиями приобретают степень повышенного экологического риска.

Приведем выполненные тестовые оценки состояния природной среды территорий размещения вышеуказанных предприятий с различной производственной инфраструктурой в иерархической последовательности от простой производственной инфраструктуры к более сложной, что характеризуется более значительным набором технологических приемов, которые позволяют увеличить глубину переработки минерального сырья. Это приводит к переизмельчению отходов производства и их потенциальной опасности в процессе “жизненного цикла” исходного сырья: добыча руды (дробление) — первичная переработка (обогащение-получение концентрата) — вторичная переработка (металлургический передел — получение промежуточного продукта) — товарная продукция (металл). По мере продвижения вещества по этому циклу нарушаются его природные химические связи за счет тонкого измельчения (до 40 мкм), применения химических реагентов [6], многие из которых токсичны, образования твердых и жидких отходов, а также наиболее опасных пыли и газов в виде растворимых окислов и сульфатных соединений в ионной форме, где вероятность реализации потенциальной опасности токсичности исходного сырья максимальна.

Месторождение вольфрамовых руд ОАО “Приморский ГОК”. Подземный рудник “Восток-2” производительностью 350 тыс. т в год сырой руды отрабатывает комплексное месторождение вольфрамовых руд малого масштаба. При разработке таких месторождений подземным способом горные работы проводятся в выработках замкнутого контура и осуществляются с частичным изменением состояния литосферы в зоне ведения горных работ. В связи с этим, являясь локальным источником возмущения окружающей природной среды, подземный способ разработки в сравнении с открытым не оказывает серьезных негативных последствий на состояние окружающей природной среды. Степень экологического риска определяется инфраструктурой и технологиями поверхностных производств, создающих локальную изменчивость природных компонентов (биологического сообщества), а также токсичностью отходов.

Техногенная нагрузка на территории размещения предприятия “Восток-2” практически постоянна во времени и обусловлена технологией хранения отходов обогащительного производства, а также пылением грунтовых дорог при доставке руды на фабрику автосамосвалами. Все отходы малотоксичны. Природные условия благоприятные. Кроме того, отсутствует антропогенная нагрузка, поскольку поселок горняков расположен в 7 км от промплощадки комбината. Все объекты пространственно разграничены гористым рельефом местности, поэтому локальные техногенные нагрузки добычного и обогащительного комплекса и антропогенная нагрузка

не суммируются. На рис. 2 представлены рассчитанные средние значения NDVI на территории размещения ГОКа “Восток-2”. Анализ результатов показывает, что максимальные значения индекса отмечены в летний период года. При этом в течение исследуемого периода с 2000 по 2010 г. NDVI существенно не изменился (от 0.87 до 0.92) и связан с флуктуацией региональных климатических условий, что свидетельствует об отсутствии существенных негативных экологических последствий, связанных с деятельностью предприятия.

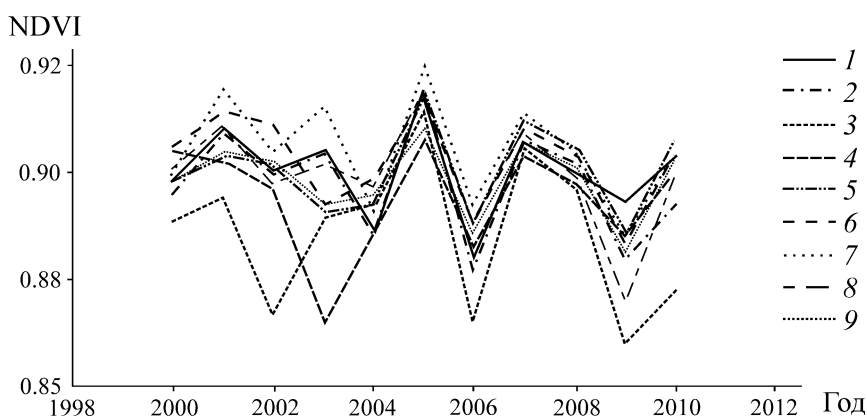


Рис. 2. Средние значения NDVI для летнего периода на территории размещения ГОКа “Восток-2”: 1–8 — изолированные долины вокруг рудника и поселка; 9 — остальная часть территории

Золоторудное месторождение “Воронцовское” (ЗАО “Золото Северного Урала”, Свердловская область) является по масштабам малым месторождением, обрабатываемым открытым способом с 1999 г., и одним из немногих в России, где используется одновременно две экологически приемлемые технологии для переработки двух типов руд: окисленных — методом кучного выщелачивания отсыпкой в штабели (800–900 тыс. т руды в год) и первичных — методом “уголь в пульпе”. Производственная инфраструктура предприятия весьма проста и включает карьер и площадки для кучного выщелачивания. Добытая руда транспортируется на переработку на золотоизвлекающую фабрику (ЗИФ-2), расположенную в 7 км, за пределами взаимодействия с техногенной нагрузкой, связанной с работой карьера. Техногенная нагрузка на природную среду связана в основном с механическим воздействием при увеличении размеров карьера.

Природные условия и техногенные факторы благоприятны для сохранения природного потенциала. Месторождение эксплуатируется всего 13 лет. Токсичность исходного сырья малоопасна (Au, Ag, S, As). Вместе с тем состояние подроста сосны и эпифитных лишайников свидетельствует о том, что на обследованной территории уровень загрязнения воздуха достаточно высокий [7]. Это объясняется тем, что экосистемы территории находятся в зоне воздействия Богословского алюминиевого завода, который выбрасывает в атмосферу кислотные газы и соединения фтора.

На рис. 3 представлены рассчитанные по результатам спутниковых измерений за 2000–2011 гг. средние значения NDVI на территории размещения карьера. Анализ результатов показывает, что минимальные значения индекса отмечены в зоне размещения карьера и площадок кучного выщелачивания. В течение исследуемого периода NDVI незначительно снижался, принимая значения от 0.82 до 0.8, что свидетельствует о слабых негативных экологических последствиях, связанных с деятельностью предприятия и влиянием соседнего металлургического завода.

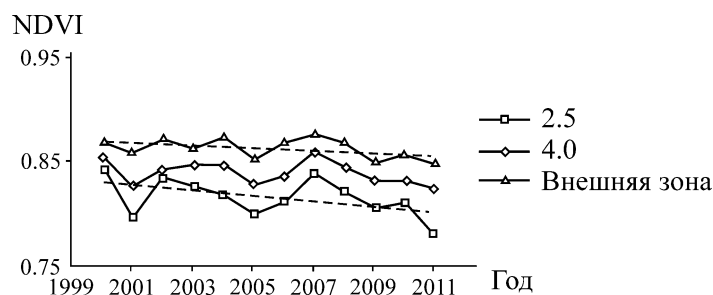


Рис. 3. Пространственно-временные вариации NDVI зоны влияния карьера “Воронцовский” на окружающие экосистемы. Штриховыми линиями показаны многолетние тренды. Цифрами указаны радиусы (км) зон вокруг предприятия

Сорское месторождение медно-молибденовых руд (Хакасия) отрабатывается с 1950 г. открытым способом с внешним отвалообразованием и относится к мощным месторождениям, для которых характерны большие массопотоки, а также значительные отходы горных пород, хвостов обогащения и шлаков. Производственная инфраструктура ООО “Сорский ГОК” включает комплекс обогатительного производства, ТЭЦ, ООО “Сорский ферромолибденовый завод”, сконцентрированные на ограниченной территории диаметром 6.5 км. В непосредственной близости от промплощадки размещается г. Сорск с населением 13 тыс. жителей [5]. Перечисленные техногенные факторы свидетельствуют о наличии определенного экологического риска. Вместе с тем токсичность соединений молибдена относительно невысока, поэтому пыль, выбрасываемая в атмосферу, не содержит токсичных веществ в активной форме и при попадании в организм человека не вызывает серьезных последствий для здоровья.

В отличие от подземного способа разработки месторождений производственные процессы в карьере происходят в горных выработках незамкнутого контура, открытых в атмосферу. Осуществляются они с полным разрушением биоты, изъятием почвенного покрова и горных пород. В процессе эксплуатации площадь нарушенных территорий прирастает за счет механического воздействия при увеличении размеров карьера, а также диффузионных и инерционных процессов.

Спутниковые измерения за 1999–2011 гг. показали, что низкими значениями NDVI характеризуется внутренняя зона (диаметром 6.5 км), где расположен Сорский ГМК (рис. 4). Анализ динамики NDVI проведен по совокупности двух кольцевых зон, ограниченных окружностями с диаметрами 0–5 км (импактная зона) и 5–8 км (импактно-буферная). В импактной зоне в многолетнем плане NDVI имеет незначительную отрицательную тенденцию — 0.028, при абсолютном значении NDVI 0.351 (2011 г.). Внутри импактно-буферной зоны (рис. 4, кривая 2) NDVI за 12 лет также незначительно снизился с 0.79 в 2000 г. до 0.71 в 2011 г.

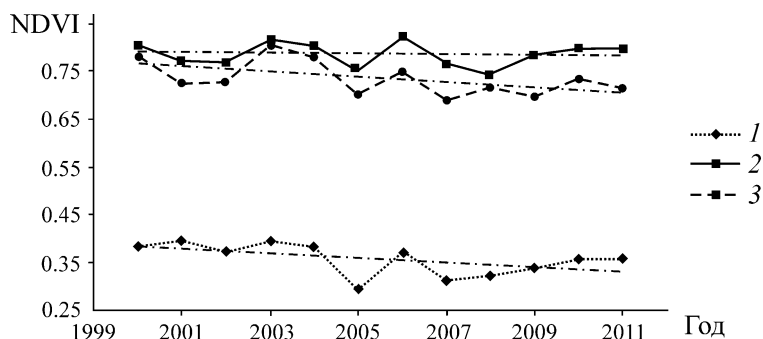


Рис. 4. Годовые вариации средних значений NDVI на территории размещения Сорского ГОКа в июле с 1999 по 2011 г. для кольцевых зон, ограниченных окружностями с диаметрами: 1 — 0–5 км (многолетняя динамика NDVI территории размещения карьера, хвостохранилищ и большая часть отвалов); 2 — 5–8 км (новые отвалы и город); 3 — 62–96 км (фоновая область, на которую не распространяется воздействие Сорского ГМК)

Таким образом, за исследуемый период заметного ухудшения растительного покрова не наблюдалось. Все события, связанные с резким уменьшением объема фитомассы, произошли ранее, когда формировался и развивался карьер, хвостохранилище, отвалы горных пород и строился город. Суммируя изложенное, за среднее значение NDVI для территории двух зон следует принять 0.56–0.58.

ОАО «Комбинат Североникель» (Мурманская область). Наиболее показательны результаты исследований тех объектов, где по разным причинам произошло значительное снижение техногенных нагрузок. Таковым является ОАО «Комбинат Североникель». Медно-никелевый горнометаллургический комбинат характеризуется сложной многопрофильной производственной инфраструктурой, многолетними (более 70 лет) и чрезмерно высокими экотоксикологическими техногенными нагрузками на окружающую среду [8]. Максимальный уровень выбросов в атмосферу (более 232.5 тыс. т/год) отмечался по сернистому ангидриду в 1990 г., по тяжелым металлам (более 12 тыс. т/год) — в 1986–1987 гг. [5].

Анализ совмещенных графиков динамики выбросов предприятием загрязняющих веществ в атмосферу и многолетних вариаций усредненного в пределах импактной зоны (0–5 км) вегетационного индекса показал, что на фоне значительного снижения техногенной нагрузки (2000 г.), зафиксирована тенденция роста NDVI (штриховая линия), что свидетельствует о начале зарастания территории (рис. 5), т. е. ответная реакция биоты на снижение техногенной нагрузки проявилась с инерцией в 5 лет. С 2005 г. отмечается его флуктуация вокруг значения, равного 29 %, определяемая региональными погодными условиями и неустойчивостью технологического режима обогащения руды, обусловленного изменениями качества исходного сырья.

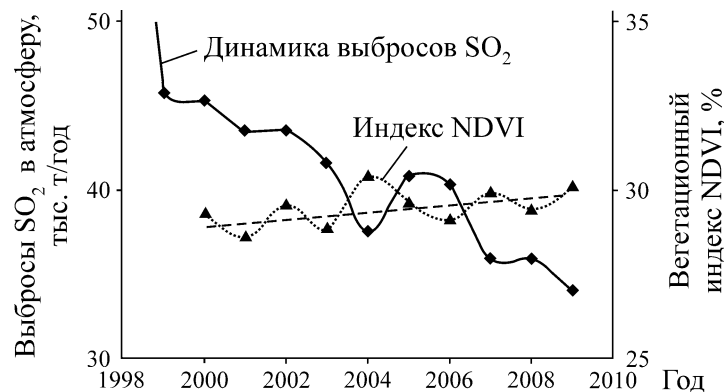


Рис. 5. Изменения среднего вегетационного индекса в пределах импактной зоны (0–5 км) на территории размещения ОАО «Североникель» на фоне снижения техногенной нагрузки

Как показывают результаты полевых исследований, фитотоксичность почв по состоянию на 2007 г. претерпела изменения: почвы импактной зоны (0–5 км) по-прежнему остались в группе сильнотоксичных, почвы буферной зоны перешли в разряд слаботоксичных, т. е. их фитотоксичность снизилась. Однако, несмотря на то что за последние 7 лет техногенная нагрузка снизилась в 5 раз, территория характеризуется низким уровнем сохранившегося природного потенциала, нарушенного многолетними техногенными нагрузками с опасной токсичностью. Для данной территории значения NDVI составляют 0.30–0.38.

Для сравнительной оценки состояния растительного покрова исследуемых территорий в зависимости от сложности производственной инфраструктуры предприятий в таблице приведены их технические характеристики, природные и технологические условия и техногенные факторы, а также значения NDVI. Для количественной оценки потери растительности показаны значения индекса для условно-фоновых зон и их соотношение с его значениями в импактной зоне.

Сравнительное значение NDVI по горнодобывающим и перерабатывающим предприятиям

Объект и срок эксплуатации	Инфраструктура		Производство по руде, тыс. т./год	Токсичность исходного сырья	Климатическая зона	Вегетационный период, дн.	Почвы / потенциал самоочищения	NDVI		NDVI _{фон} / NDVI _{рмп}	Потеря растительности, %
	начальная	нынешняя						Фоновая зона	Импактная зона (период измерений)		
ГОК "Восток-2" (Приморский край), 46 лет	Карьер, обогатительная фабрика	Подземный рудник, обогатительная фабрика	300	Мало опасная (W, Bi, Ag, Au)	Дальний Восток	112	Буроземы горные / выше среднего 17–20	0.90–0.92	0.87–0.92 (2000–2010)	0.8	2.0
ЗАО "Золото Северного Урала" (Свердловская область), 13 лет	Карьер, кучное выщелачивание	Карьер, золотодобывающие фабрики (7 км от карьера)	900 (2000 г.) 600 (2013 г.)	Мало опасная (Au, Ag, S, As)	Средний Урал	85	Дерново-подзолистые / низкий 11–14	0.84–0.87	0.80–0.82 (2000–2011)	0.94	6.0
Сорский ГОК (Хакасия), 62 года	Карьер, обогатительная фабрика	Карьер, обогатительная фабрика, металлургический комбинат (2006 г.)	9000	Мало опасная (Mo, Cu, S, Fe)	Умеренный Юг	115	Горные серые лесные / низкий 11–14	0.85–0.86	0.56–0.58 (2000–2011)	0.63	37.0
ОАО "Североникель" (Мурманская область), 71 год	Карьер, подземный рудник, обогатительная фабрика, металлургический комбинат	Металлургический комбинат	—	Опасная (Ni, Cu, Co, Au)	Крайний Север	74	Подзолы	0.80–0.75	0.30–0.38 (2000–2009)	0.46	54.0

Анализ табличных данных показывает, что вегетационный индекс растительности снижается по мере усложнения производственной инфраструктуры и повышения степени токсичности отходов, а также роста объема производства и срока эксплуатации месторождения, что свидетельствует о нарастании процесса деградации окружающей среды на рассматриваемой территории при использовании данной технологии. Климатическая зона в меньшей степени определяет тренд NDVI, но во многом зависит от количества выпадающих осадков и длительности вегетационного периода.

Технические и технологические параметры предприятий “Восток-2” и “Золото Северного Урала” совместимы с функционированием биологических систем и практически находятся в равновесии. Их влияние на окружающую среду можно оценить как приемлемый экологический риск. Здесь сохранился природный потенциал, и после закрытия предприятия и устранения техногенной нагрузки процесс самовосстановления растительного покрова гарантирован.

На территории размещения “Сорского ГОКа” сохранившийся природный потенциал можно оценивать как условно-благоприятный для самовосстановления растительного покрова после прекращения техногенной нагрузки, принимая во внимание, что токсичность соединений молибдена в отходах относительно невысока [9]. Следует отметить, что потеря растительности (37 %) в основном связана с механическим разрушением почвенного и растительного покровов при формировании инфраструктуры предприятий и развитии горных работ на карьерах, с размещением на поверхности огромных объемов вскрышных пород и хвостов обогащения, а также г. Сорска.

Территория ОАО “Североникель” характеризуется низкой активностью биологических процессов, протекающих в подзолистых иллювиально-малогумусовых (железистых) почвах, а также коротким вегетационным периодом (74 дня) [10]. Природный потенциал за период более 70 лет значительно разрушен в результате воздействия токсичных выбросов в атмосферу тяжелых металлов и окислов серы. В зоне интенсивного загрязнения сформировался техногенный ландшафт на площади более 6 тыс. га [8]. Общая площадь поражения растительности в окрестностях г. Мончегорск составляет 54 %.

ВЫВОДЫ

Установлено, что вегетационный индекс растительности снижается по мере усложнения производственной инфраструктуры и повышения степени токсичности отходов, а также роста объема производства и срока эксплуатации месторождений, что свидетельствует о нарастании процесса деградации окружающей среды на рассматриваемых территориях при используемых технологиях. Климатическая зона в меньшей степени определяет тренд нормализованного дифференцированного вегетационного индекса, но во многом зависит от количества выпадающих осадков и длительности вегетационного периода.

Величина индекса объективно отражает интегральную количественную оценку состояния природной среды на территориях размещения предприятий по освоению недр и может служить в качестве критерия, который характеризует степень экологической опасности применяемых технологий и производства в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Jensen J. R.** Remote Sensing of the environment: An Earth Resource Perspective, Prentice Hall, 2000. — 544 p.
2. **Бондур В. Г., Чимитдоржиев Т. Н.** Дистанционное зондирование растительности оптико-волоконными методами // Геодезия и аэрофотосъемка. — 2008. — № 6. — С. 64–73.

3. **Kalabin G. V.** Use of remote sensing to assess the environmental setting of the territories — zones of mining complex enterprises, *Mining World Express (MWE)*, 2012, Vol. 1, Issue 1. — P. 1–7.
4. **Калабин Г. В.** Экодинамика территорий освоения георесурсов России. — Lambert Academic Publishing, 2012. — 314 с.
5. **Барталев С. А., Егоров В. Л., Ершов Д. В., Исаев А. С., Лупян Е. А., Плотников Д. Е., Уваров И. А.** Спутниковое картографирование растительного покрова России по данным спектрорадиометра MODIS // *Современные проблемы ДЗЗ из космоса*. — 2011. — Т. 8. — № 4. — С. 285–302.
6. **Чантурия В. А.** Современные проблемы обогащения минерального сырья в России // *Горн. журн.* — 2005. — № 12. — С. 56–64.
7. **Байтальская А. В.** Оценка воздействия на растительность. Сравнение реакции отрастания сосны и лишайников на загрязнение воздуха. Биота горных районов: история и современное состояние / *Материалы конф. молодых ученых 15–19 апреля 2002 г.* — Екатеринбург: Академкнига, 2002. — 316 с.
8. **Поздняков В. Я.** Страницы истории комбината “Североникель”. — М.: Руда и металлы, 1999. — 443 с.
9. **Федеральный атлас.** Природные ресурсы и экология России. — М.: НИИ-Природа, 2002. — 278 с.
10. **Экологический атлас России.** — М.: Феория, 2017. — 510 с.

Поступила в редакцию 28/II 2018