

ГОРНАЯ ЭКОЛОГИЯ

УДК 622.014.3-62-519

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ТЕРРИТОРИИ КАЧКАНАРСКОГО ГОКа ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОГО МОНИТОРИНГА

Г. В. Калабин¹, В. И. Горный², С. Г. Крицук²

¹*Институт проблем комплексного освоения недр РАН, E-mail: kalabin.g@gmail.com,
Крюковский тупик, 4, 111020, г. Москва, Россия*

²*Научно-исследовательский центр экологической безопасности РАН,
E-mail: v.i.gornyy@mail.ru, ул. Корпусная, 18, 197110, г. Санкт-Петербург, 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 результаты исследований состояния природной среды на примере территории размещения горнодобывающего предприятия, обрабатывающего открытым способом месторождение Гусевогорское (Свердловская область, Россия) титаномагнетитовых железных руд, содержащих примеси ванадия.

Предприятия горнопромышленного комплекса, состояние растительного покрова, дистанционные методы зондирования Земли, нормализованный дифференцированный вегетационный индекс

В настоящее время в архивах материалов спутниковых съемок накоплены значительные объемы информации, позволяющие строить длинные ряды характеристик состояния природной среды на значительных по масштабу территориях и с достаточной для практики детализацией. Первые наши исследования [1] в этом направлении были связаны с разработкой методического подхода к применению космических материалов при мониторинге реакции растительного покрова на негативное воздействие со стороны предприятий по освоению недр.

Разработанная методика показала высокую эффективность на примере нескольких объектов, обрабатываемых открытым способом, в том числе Олимпиадинского золоторудного месторождения (Красноярский край) [2] и Сорского горно-металлургического комбината (Республика Хакасия), обрабатывающего месторождение медно-молибденовых руд [3].

Учитывая значительное многообразие природных условий на территории России, типов руд, технологий их добычи и переработки, следующей задачей в этом направлении является получение статистически достоверного ряда результатов исследований территорий размещения предприятий по освоению недр, позволяющих более объективно ранжировать их по степени экологической опасности, с учетом региональной специфики и различной производственной инфраструктуры. Одним из таких объектов является ОАО «Качканарский ГОК «Ванадий».

Цель настоящего исследования — изложение и анализ эффективности разработанной методики применения спутникового мониторинга на примере месторождения титаномагнетитовых руд, отрабатываемого открытым способом в условиях Среднего Урала.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Характеристика месторождения. ОАО “Качканарский ГОК “Ванадий” (КГОК) входит в пятерку крупнейших в России горнорудных предприятий, который с 1963 г. разрабатывает Гусевогорское месторождение титаномагнетитовых железных руд, содержащих примеси ванадия. Производственная мощность комбината в 2013 г. составила порядка 56 млн т железной руды [4, 5]. Решающим фактором для принятия решения о строительстве комбината было наличие в рудах ванадия — ценного легирующего компонента. В настоящее время КГОК добывает руду из трех карьеров с дальнейшей ее переработкой на дробильной, обогатительной и агломерационной фабриках. Конечный продукт — агломерат и окатыши, а также железо-ванадиевый концентрат, пески (отходы мокрой магнитной сепарации) и щебень.

Природные условия. Исследуемый регион расположен в предгорье Среднего Урала. Рельеф местности холмисто-увалистый и “прорезан” долинами небольших рек. Климат территории умеренно континентальный. Зима продолжительная, многоснежная, почти без оттепелей. Благоприятно сказывается на развитии растительности интенсивное выпадение осадков (в среднем 350 мм) в теплое время года (рис. 1)

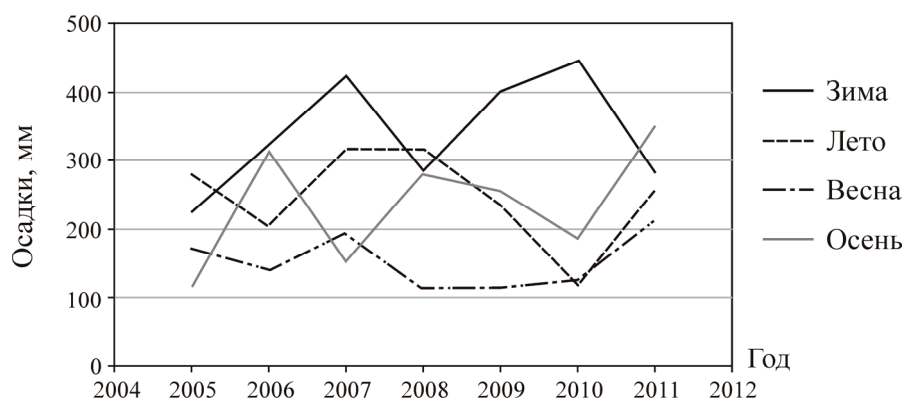


Рис. 1. Многолетние вариации количества осадков для различных сезонов года по данным метеостанции г. Серов

Число дней в году с температурой 0°C колеблется от 140 до 220, выше $+10^{\circ}\text{C}$ — от 100 до 140. Зимой направление ветра северо-восточное, летом — юго-восточное [6]. Многолетняя мерзлота отсутствует.

Исследуемое предприятие расположено в зоне тайги на многолесистой (68,7 %) территории, представленной хвойными — 58 % (сосна, ель, пихта, лиственница, кедр), смешанными и лиственными лесами (береза, осина, липа). Достаточно широко развиты экосистемы лугов. В геоморфологическом плане территория находится на границе Среднего Урала (высшая точка — гора Конжаковский Камень, 1569 м) и Западно-Сибирской равнины.

Природные условия на территории размещения комбината (таблица) позволяют предварительно оценить потенциал самовосстановления растительного покрова после снятия техногенной нагрузки как “условно благоприятный”.

Характеристика природных условий территории размещения ОАО “Качканарский ГОК “Ванадий” и техногенных факторов, определяющих состояние ландшафтов и растительного покрова в процессе освоения месторождения

Природные условия			Технологические, техногенные и антропогенные факторы		
Рельеф	Горный 350 – 763 м	+	Производственная инфраструктура	Многоотраслевая (добыча, обогащение, агломерация, окомкование)	–
Физико-географические зоны	Тайга (смешанные леса)	+	Объем производства, млн т/год	Суперкрупное, 50.0	–
Осадки, мм/год	467	+ –	Срок эксплуатации, год	50.0	– +
Средняя продолжительность безморозного периода, дней	98	+ –	Токсичность первичного сырья и отходов	Нетоксичная	+
Потенциал загрязнения атмосферы	Неблагоприятный — высокий (2.8 – 3.0)	–	Отходы горных пород, млн т/год	43.2	–
Почвенный покров	Дерново-подзолистые	+ –	Отходы обогащения, тыс. т/год	8.0	–
Потенциал самоочищения почв, балл	Ниже среднего, 11 – 14	– +	Отходы агломерации, т/год	Нет данных	–
Удельная эмиссия почв С – СО ₂ , кг/га/ вегетационный период	Выше среднего, 2000 – 3000	+	Суммарные выбросы в атмосферу, тыс. т/год	Небольшие, 76.3, после очистки 10.7	+
Лесистость, %	Высокая, 60 – 80	+	Сбросы карьерных вод (водоотлив), тыс. м ³ /ч	Несущественные 21.4	+
Годичная фитомасса, т/га	Высокая, 11 – 16	+	Населенные пункты, (численность) тыс. чел	Средний — 50	–

Примечание. + положительный фактор, обеспечивающий устойчивость природного потенциала; – отрицательный фактор, влияющий на уменьшение природного потенциала

Горно-геологические и технологические условия, факторы техногенного воздействия.

Основными видами воздействия производственных объектов Качканарского горно-обогатительного комбината на окружающую среду являются: механическое нарушение земной поверхности горными работами и складированными вскрышными породами; выбросы в атмосферу загрязняющих веществ от стационарных и передвижных источников; сбросы сточных вод в водный бассейн; химическое загрязнение от размещенных на земной поверхности вскрышных пород и хвостов мокрой магнитной сепарации (ММС); нарушение гидрологического режима в результате откачек подземных вод в бортах карьера.

Достигнутая глубина открытых горных работ 125 м (проектная — 300 м). Вскрытие ведется по комбинированной схеме: нагорная часть — обособленными заездами с вывозом руды автотранспортом; нижние горизонты — внутрикарьерными спирально-тупиковыми съездами и доставкой руды от забоя до обогатительной фабрики, а вскрышных пород в отвалы железнодорожным транспортом. Система разработки — транспортная с внешними отвалами. Извлечение руды при добыче 96 %, разубоживание 2.8 % [4, 5].

Технология обогащения включает дробление, сухую магнитную сепарацию, измельчение на мельницах, мокрую магнитную сепарацию, обезвоживание концентрата. Извлечение при обогащении составляет 85 %. Комбинат работает в замкнутом цикле водопотребления с обо-

ротной и последовательно используемой водой в объеме 449.7 млн м³ в год. Годовой сброс нормативно очищенных сточных вод составляет 21.4 млн м³. Для сокращения сбросов загрязняющих веществ в водный бассейн и подпитки водоема оборотной водой построен водовод карьерного водоотлива общей протяженностью 5.7 км.

Поскольку объем добычи руды на комбинате увеличился с 44 млн т в 2010 г. до 50 млн т в 2013 г., соответственно возросли и выбросы загрязняющих веществ в атмосферу с 71.9 до 83.9 тыс. т (пыль, CO, SO₂, NO_x) и твердые отходы — с 43.2 до 55 млн т [4, 7]. Основными загрязнителями атмосферного воздуха являются фабрики окускования, агломерации и окомкования, суммарный выброс которых составляет 93 % от общего. При реконструкции фабрики окатышей в период с 2004 по 2006 г. практически все пылегазоочистное оборудование было заменено новым, более эффективным. Степень очистки воздуха при агломерации и обжиге окатышей 95.4 %.

С целью увеличения объема добычи руды до 55 млн т комбинат расширяет объем хвостохранилища. При этом высота обваловочной дамбы может значительно превышать проектные отметки, что увеличит риск массового выноса пылевых потоков в окружающую среду. Еще более острой проблемой является необходимость расширения или строительство нового шламоохранилища в условиях дефицита свободных территорий.

На комбинате в 2006 г. завершена реализация трехлетнего инвестиционного экологического проекта по оснащению газоочистными установками двух действующих на предприятии комплексов по производству агломерата (сырья для изготовления чугуна). Общий экологический эффект от реализации проекта ежегодно будет составлять 20.4 тыс. т уловленной агломерационной пыли. Кроме того, на двух карьерах местные котельные установки переведены с мазута на более экологически чистое топливо — газ.

С начала эксплуатации месторождения накоплено более 1 млрд т твердых отходов, площадь нарушенных земель составила 3345 га, в том числе 860 га занято карьерами; 828 — отвалами; 1545 — шламо- и хвостохранилищами [4]. Несмотря на впечатляющие объемы производства, по оценке ученых Академии народного хозяйства при Правительстве РФ и ассоциации “Медицина и экология” (г. Екатеринбург), комбинат оказывает относительно небольшое негативное влияние на состояние окружающей среды и здоровье населения. Полный цикл исследований подтвердил, что с токсикологических позиций хвосты отнесены к категории малотоксичных и экологически безопасных. Это связано со спецификой руды, которая практически не содержит вредных примесей, и особенностями технологии рудоподготовки, при которой не используются химические реагенты [8].

На ГОКе осуществляется постоянный контроль за предотвращением негативных последствий производства на окружающую среду. Благодаря постоянно реализуемым природоохранным мероприятиям, начиная с 2003 г. Качканарский ГОК снизил в течение 10 лет удельные выбросы в атмосферу более чем в 2.5 раза: с 23 до 9 кг на 1 т готовой продукции. Проводятся работы по рекультивации нарушенных территорий.

Вместе с тем экологическая ситуация в регионе все еще не отвечает экологическим нормам из-за высокой запыленности и выбросов CO, SO₂, NO_x. Обстановка с загрязнением атмосферы непосредственно в населенных пунктах, где проживает более 50 тыс. чел., в том числе г. Качканар (41.4 тыс. жителей), несколько лучше, поскольку они расположены вне зоны преобладающей розы ветров. Серьезной экологической проблемой остаются шламовые отвалы (озера). В зоне шламового загрязнения оказались уже три населенных пункта — города Качканар и Лесной, поселок Валериановск. Наиболее опасная ситуация наблюдается в сухую погоду при

наличии сильных ветров. Большим недостатком в природоохранной деятельности комбината является отсутствие проекта санитарно-защитной зоны, которая по предварительным данным может составить около 1 км и охватить территорию размещения населенных пунктов.

Анализ горно-геологических и технологических условий, а также техногенных факторов на объектах ГОКа свидетельствуют о наличии допустимого экологического риска.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Информационной основой для изучения влияния ОАО “Ванадий” на окружающие экосистемы служили цифровые карты нормализованного дифференциального вегетационного индекса (НДВИ), представляющие собой стандартный продукт (уровень L3) 16-дневного композита с геометрическим разрешением на местности 250 м. Карты подготовлены по материалам съемок спутниками Terra и Aqua (сканер MODIS) [9] на сезон с 1 мая по 30 сентября с 2000 по 2011 г. Всего подобрано (10 композитов за сезон) \times (12 лет) = 120 карт НДВИ. В качестве картографической основы приняты: цифровая карта России 1:1 000 000 (USGS); цифровая модель рельефа миссии “Шаттл” — SRTM [10]. Для анализа закономерностей пространственно-временных вариаций НДВИ использовалась цифровая карта растительного покрова России с разрешением 250 м, составленная ИКИ РАН по спутниковым и наземным данным [11].

Количественная оценка состояния окружающей среды на территории размещения предприятия по спутниковым материалам проводилась по разработанной ранее методике [1]. На первом этапе в пределах исследуемого региона вокруг источника техногенной нагрузки выделялись кольцевые концентрические зоны (рис. 2), ограниченные окружностями с диаметрами: первая (внутренняя) зона радиусом 4 км; вторая — радиусом 8.7 км; третья — 13.7 км, четвертая — 23 км.

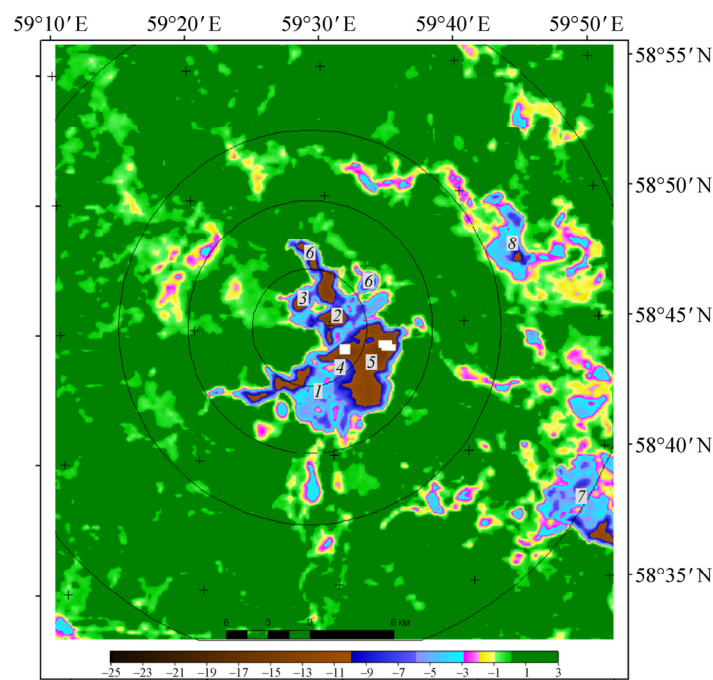


Рис. 2. Карта декремента НДВИ территории, на которой расположен Качканарский ГОК. Наложены границы кольцевых зон, ограниченных окружностями радиусами: 4, 8.7, 13.7 и 23 км. Декремент НДВИ представлен в единицах среднеквадратического отклонения пространственных изменений НДВИ во внешней (фоновой) зоне, ограниченной окружностями радиусами 13.7 и 23 км. Белым цветом показано отсутствие данных. 1 — г. Качканар; 2 — Центральный карьер; 3 — Западный карьер; 4 — ГОК; 5 — шламовые отвалы; 6 — отвалы вскрышных пород; 7 — г. Нижняя Тура; 8 — пос. Ис

Ширина кольцевых зон увеличена от центра к периферии. Это сделано для того, чтобы более детально охарактеризовать НДВИ в области его наибольших градиентов, которые расположены вблизи источника техногенной нагрузки. Водные объекты маскировались и не учитывались при расчетах для минимизации их влияния на результат. Затем в кольцевых концентрических зонах в соответствии с картой растительного покрова выделялись области лесов и степей. Внутри этих областей рассчитывались средние значения НДВИ для каждой концентрической кольцевой зоны.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Для исследуемой территории отмечается характерная особенность — зависимость значений НДВИ экосистем от высоты рельефа дневной поверхности, что подтверждается частотой их распределения (рис. 3). Причем для начала июня от года к году ситуация меняется, что отражает как изменение дат начала вегетации, так и проявление высотной зависимости лишь на ранних стадиях вегетации. Многолетние вариации количества осадков скорее отражают флуктуации природно-климатических условий, которые не влияют на вариации НДВИ (рис. 3, 4). Сравнение этих данных не позволяет выявить тенденцию связи количества осадков и НДВИ, поэтому последующие выводы сделаны для условно летнего сезона, для которого высотная зависимость НДВИ не проявляется.

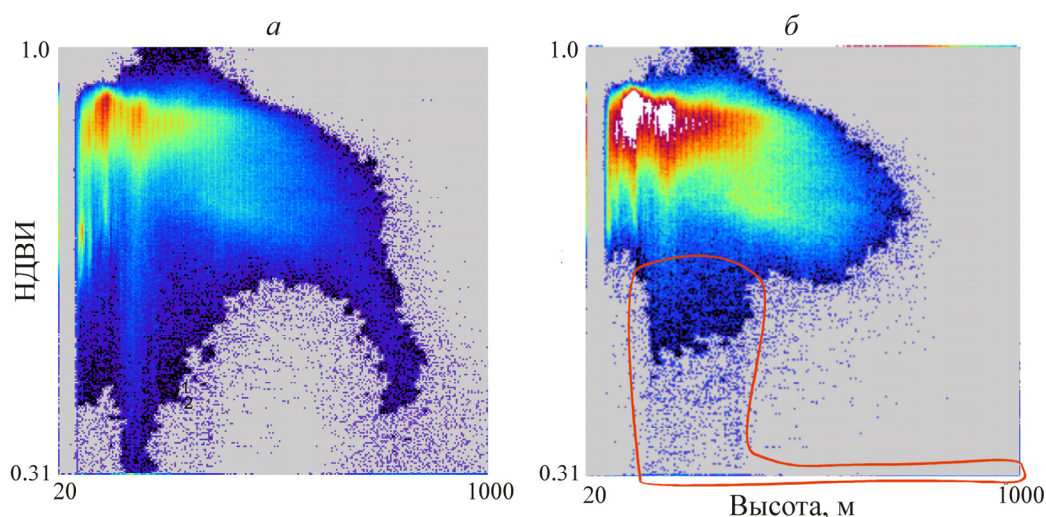


Рис. 3. Плотность (частота) распределения значений НДВИ Свердловской области в зависимости от высоты рельефа дневной поверхности (начало июня (161 день 2003 г., плотность растёт от черного к синему – зеленому – красному и белому): *a* — для всех экосистем; *b* — только для лесных экосистем. Красной линией обведена область, где располагаются “бракованные” пиксели, для которых НДВИ занижен из-за неправильного учета облачности (облаков и теней от них)

Анализируя полученные данные на рис. 4, можно выделить две группы похожих кривых: 2005–2010 и 2007–2009 гг. Для первой характерно раннее начало роста НДВИ — начало вегетации и раннее начало спада НДВИ — наступление листопада. Для другой — 2007–2009 гг. начало и окончание вегетации, напротив, смещено к поздним датам. Выделяется 2008 г. с очень коротким периодом и поздним началом вегетации и 2010 г. — с длительным периодом и поздним завершением вегетации.

Низкими значениями НДВИ характеризуются внутренние зоны радиусом 4 и 8.7 км, где расположена промышленная инфраструктура ГОКа (рис. 2, 5).

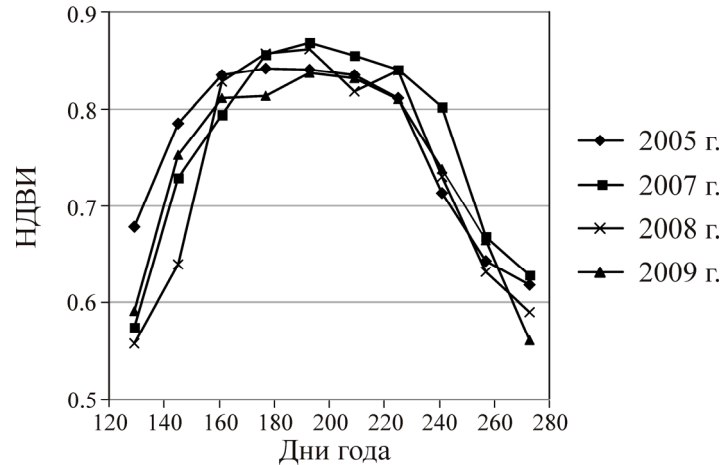


Рис. 4. Многолетние вариации сезонного хода НДВИ во внешней зоне Качканарского ГОКа

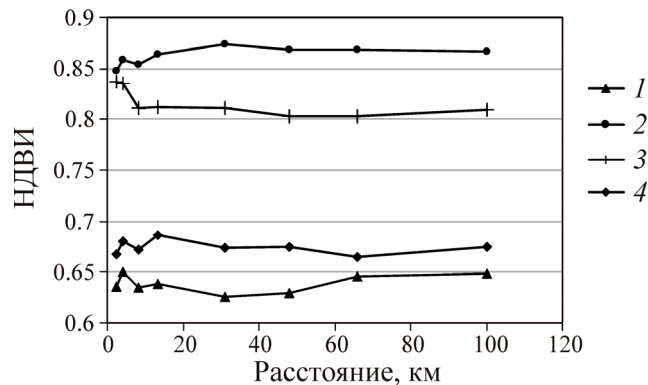


Рис. 5. Изменчивость НДВИ смешанных лесов в 2003 г. в зависимости от расстояния до Качканарского ГОКа: 1 — первая половина мая; 2 — вторая половина июля; 3 — конец августа; 4 — конец сентября

На рис. 6 представлены многолетние изменения площади депрессивной зоны района Качканарского ГОКа — области нарушенных экосистем. Эта область характеризуется низкими значениями НДВИ. Для ее оконтуривания используются параметры статистических распределений весенне-летних значений НДВИ (среднее M и стандартное отклонение σ), полученные для внешней (ненарушенной) зоны. В качестве граничных значений выбраны значения декремента снижения НДВИ: $M - 6\sigma$, $M - 8\sigma$, $M - 12\sigma$. Пороговые значения определялись параметрами распределения нормированного и центрированного главного фактора изменчивости ежегодного набора весенне-летних значений НДВИ. Факторный анализ проводился для смешанных лесов, а значения факторов строились для всей территории. Доля главного фактора в различные годы составила от 35 до 60 % от общей дисперсии данных. Анализ трендов, характеризующих изменения площади нарушенных экосистем начиная с 2004 г., показал их снижение. Это, скорее всего, связано с постепенным зарастанием отвалов, которые занимали в 2003 г. около половины площади земель, нарушенных в результате промышленного производства.

Кривая 1 на рис. 7 характеризуется самыми низкими значениями вегетационного индекса и отражает динамику НДВИ территории размещения производственной инфраструктуры, шламовых озер и отвалов вскрышных пород. Для выяснения степени нарушенности природной среды под воздействием Качканарского ГОКа представляет интерес результат анализа динамики НДВИ по совокупности двух кольцевых зон: импактной зоны диаметром 5.0 км и импактно-

буферной зоны — 8.0 км. При этом для импактно-буферной зоны НДВИ за 12 лет имел незначительный отрицательный тренд, практически оставаясь равновесным, и составлял 0.79–0.78. В импактной зоне тренд НДВИ, наоборот, проявлял незначительную положительную тенденцию — 0.15 при абсолютном значении НДВИ 0.635 (2011 г.). Этот эффект можно объяснить результатом завершеного в 2006 г. трехлетнего инвестиционного экологического проекта по модернизации производства агломерата.

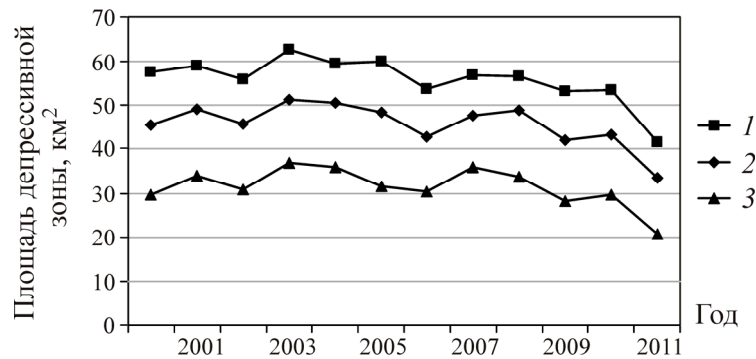


Рис. 6. Многолетние изменения площади депрессивной зоны НДВИ вокруг Качканарского ГОКа, выделенной при различных пороговых значениях декремента НДВИ. Пороги декремента НДВИ: 1 — 6σ ; 2 — 8σ ; 3 — 12σ (в единицах стандартных отклонений НДВИ внешней зоны Качканарского ГОКа)

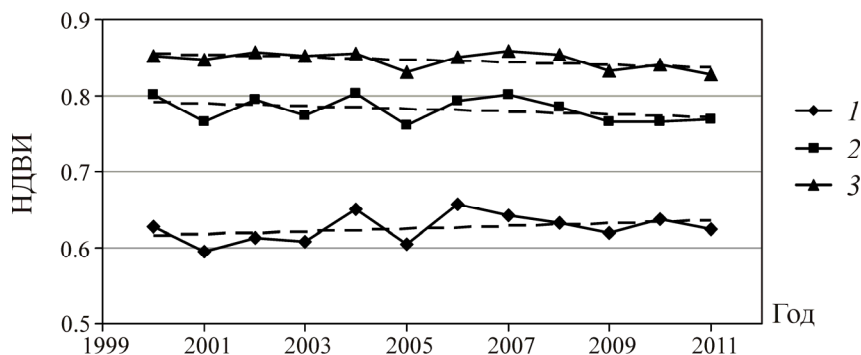


Рис. 7. Многолетние вариации июльских НДВИ растительного покрова кольцевых зон, окружающих Качканарский ГОК. Кольцевые зоны с радиусами: 1 — импактная 0–2.5 км; 2 — импактно-буферная 2.5–4.0 км; 3 — внешняя (расстояние до ГОКа более 65 км)

В целом на территории размещения предприятия за исследуемый период заметного ухудшения растительного покрова не произошло. Все события, связанные с резким уменьшением объема фитомассы, отмечались ранее, когда формировались и развивались карьеры, шламовые озера, отвалы горных пород и строился город. Суммируя изложенное, следует принять среднее значение НДВИ для территории двух зон равным 0.71. Усредненное многолетнее значение индекса для условно-фоновых зон (см. рис. 4) составляет 0.85. Соотношение с его значениями в импактной зоне — 0.73. Таким образом, потеря растительности за весь период эксплуатации месторождения составила 17 %, что свидетельствует о допустимом экологическом риске.

ВЫВОДЫ

Анализ горно-геологических, технологических и техногенных факторов на территории размещения Качканарского ГОКа свидетельствует о наличии допустимого экологического риска, что подтверждается относительно высокими значениями НДВИ (в пределах 0.71) и допустимой потерей растительности (17 %) за весь период эксплуатации месторождения.

Основной техногенной нагрузкой на окружающую среду является механическое разрушение почвенного покрова и растительности и их подтопление при формировании шламовых озер. Техногенная нагрузка, связанная с выбросами в атмосферу газа и пыли из карьеров при достижении современных его параметров и отсутствии искусственного проветривания, не существенна.

Заметного снижения объема биомассы за исследуемый период (12 лет) не установлено. Положительным результатом завершено в 2006 г. трехлетнего инвестиционного экологического проекта может служить тенденция роста НДВИ в течение 2005 – 2011 гг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Калабин Г. В.** Методология количественной оценки состояния окружающей среды на территориях размещения предприятий по освоению георесурсов // ФТПРПИ. — 2012. — № 2. — С. 175–183.
2. **Калабин Г. В., Моисеенко Т. И., Горный В. И., Крицук С. Г., Соромотин А. В.** Спутниковый мониторинг природной среды при открытой разработке Олимпиадинского золоторудного месторождения // ФТПРПИ. — 2013. — № 1. — С. 177–184.
3. **Калабин Г. В., Горный В. И., Крицук С. Г.** Спутниковый мониторинг реакции растительного покрова на воздействие предприятия по освоению Сорского медно-молибденового месторождения // ФТПРПИ. — 2014. — № 1. — С. 153–161.
4. <http://www.mining-enc.ru/kachkanarskij-gorno-obogatitelnyj-kombinat/>
5. **Павлов А. И.** Обобщенные показатели добычи и производства железной руды в России в 2010 году // Техничко-экономические показатели горных предприятий за 1990–2010 гг. — Екатеринбург: УрО РАН, 2011. — 407 с.
6. **Природные ресурсы** и экология России. Федеральный атлас. — М., 2002. — 277 с.
7. **Государственный доклад** “О состоянии окружающей среды Свердловской области в 2013 году”. — Екатеринбург, 2012. — 420 с.
8. <http://www.kgok.ru>, www.mnr.gov.ru
9. <http://ladsweb.nascom.nasa.gov/data/>
10. <http://www.cgiar-csi.org/data/elevation/item/45-srtm-90m-digital-elevation-database-v41>.
11. <http://terranorte.iki.rssi.ru/onlinegis/html/viewer.php?q=1>

Поступила в редакцию 14/X 2014