Комплексная оценка состояния техногенной пустоши Комсомольского горнопромышленного района с использованием спутникового сервиса «Вега»

Ю.А. Озарян

*Институт горного дела ДВО РАН, Хабаровск, 680000, Россия
E-mail: ozaryanigd@gmail.com*

Работа посвящена исследованию качества растительного покрова и процессов его восстановления в зоне воздействия горнопромышленного комплекса Солнечного ГОКа. Более 30 лет предприятие являлось крупнейшим производителем олова на территории СССР. С помощью спутникового сервиса мониторинга состояния растительности «Вега» проведен анализ динамики NDVI в районе исследования за период с 2001 по 2015 г. Для этого обследованы полигоны, расположенные вблизи техногенных источников и на расстоянии от них. Выполнен анализ значений индекса в каждой исследуемой точке за указанный период. Оценены перспективы самовосстановления растительности на пораженных участках. Для получения реальной картины состояния вторичной растительности в зоне воздействия хвостохранилища ЦОФ по его периметру и на равноудаленном расстоянии с шагом 200 м густой сетью нанесены полигоны в направлениях сторон света. Проведено сравнение данных о формировании вторичных фитоценозов, полученных в ходе полевых исследований сотрудниками ИГД ДВО РАН до 2005 г., с результатами спутникового мониторинга. Кроме известных факторов техногенного характера определены природно-климатические условия, положительно и отрицательно влияющие на демулационные процессы, а также причины медленного восстановления растительности вблизи хвостохранилища ЦОФ.

Ключевые слова: природно-горнотехническая система, техногенез, NDVI, сервис «Вега», самовосстановление растительности

*Одобрена к печати: 25.12.2015
DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-1-70-78*

Введение

Развитие исследований глобальных закономерностей существования биосферы породило необходимость их изучения применительно к региональным единицам, что особенно важно для природоохранных мероприятий и для прогнозов в области экологии человека. Именно человеческая деятельность все более и более нарушает границы естественных природных ландшафтных зон (Казначеев, 2010). Перемещение отходов антропогенной деятельности сопровождается интенсификацией геохимических потоков.

Известно, что биогеоценоз, экосистема, биологическое сообщество, существующие в более или менее неизменном виде достаточно длительное время, обладают некоторой внутренней способностью противостоять возмущающим факторам, которые в изобилии поставляет внешняя среда и антропогенное воздействие. Эту способность экологической системы обычно называют «устойчивостью» или «стабильностью». Анализируя различные точки зрения, можно выделить три подхода к формированию внутреннего содержания этого понятия.

Первый подход определяется требованием известной неизменяемости во времени целого географического региона или ландшафта.

Второй подход обусловлен сохранением числа видов в данном биологическом сообществе. Сообщество считается устойчивым, если число составляющих его видов не меняется в течение достаточно длительного времени.

И, наконец, третий подход относится скорее к отдельным популяциям, чем к сообществам. Считается, что сообщество устойчиво или стабильно, если численность каждой из составляющих его популяций не испытывает резких колебаний.

Крупномасштабное воздействие горнопромышленного комплекса, зачастую расположенного в труднодоступных районах, не всегда позволяет дать своевременную оценку состояния природных объектов, поскольку это требует выполнения полевых и лабораторных исследований. Интерпретация полученных данных затруднительна, поскольку в Дальневосточном регионе основные запасы минерального сырья сосредоточены в зоне сезонной и многолетней мерзлоты. Цель исследования: изучение возможности самовосстановления растительного покрова на территории Комсомольского горно-промышленного района с помощью сервиса спутникового мониторинга «Вега». В качестве примера рассмотрены возможности оценки последствий воздействия Солнечного ГОКа на природную среду.

Солнечным горно-обогатительным комбинатом (ГОК), расположенным в Комсомольском оловорудном районе, осваивалось более 10 месторождений комплексных оловянно-полиметаллических руд. В системе ГОКа функционировали 4 рудника («Солнечный», «Перевальный», «Придорожный» и «Молодежный»), 2 обогатительные фабрики и 3 хвостохранилища (Мамаев и др., 2007).

Специфика добычи и обогащения оловянной руды на этом предприятии заключалась в извлечении и переработке огромного объема горной массы, часть которой использовалась, а остававшаяся накапливалась в виде техногенных отходов, размещенных в хвостохранилищах. Одно из них находится рядом с фабрикой и в непосредственной близости (около 100 м) с пос. Горный (рис. 1). Отходы в этом месте складировались около 30 лет, его площадь – 20 га, объем – 10,4 млн. т, среднее содержание олова в хвостах – 0,13%. Второе хвостохранилище центральной обогатительной фабрики (ЦОФ) расположено вблизи пгт. Солнечный (~ 700 м). Его площадь составляет 40,3 га, объем – 24,09 млн. т. Хвосты на этих двух хвостохранилищах находятся в сухом виде.

Рис. 1. Карта-схема инфраструктуры Солнечного рудника и Солнечной обогатительной фабрики

Третье хвостохранилище закрыто сверху шламовыми водами. Его объем – 6,8 млн. т, площадь – 30,5 га. Хвостохранилище находится в 5 км от пос. Горный в направлении пгт. Солнечный (кл. Долгий) (Зверева, 2000).

В год выпуска первой продукции был основан рабочий поселок Солнечный, население которого к 1989 г. составляло до 17 тыс. человек. Поселок расположен в зоне кедрово-широколиственных лесов. Основным воздействием на экосистемы во время разведки 10 месторождений с проходкой капитальных горных выработок и последующей их отработки стало отчуждение территорий для производственных нужд под промышленную застройку и рабочие поселки Солнечный и Горный (основан в 1958 г.), прокладки дорог, в том числе рудовозных, пульпропроводов, линий электропередачи, узкоколейной железной дороги. Поселок Солнечный расположен в 1 км от ЦОФ Солнечного ГОКа. По данным газеты «Коммерсантъ» в 1994 году на предприятии было произведено 3350 т олова в концентрате, 11 тыс. т меди и 110 т свинца (<http://kommersant.ru/doc/123192>). Спустя несколько лет в отношении предприятия неоднократно проводилась процедура банкротства, в результате чего производство было приостановлено. Следовательно, накопленные более чем за 30 лет отходы горного производства остались бесконтрольными. По данным дешифрирования спутниковых снимков исследуемой территории обнаружены все три хвостохранилища (общей площадью 136,7 га), отвалы пустой породы (26,2 га), шламоотстойники (3,4 га), карьеры (36,7 га). Таким образом, с учетом промышленной застройки, общая площадь отчужденных земель составляет не менее 209 га. По мнению исследователей, изучавших экологические проблемы района (Саксин, 2012), описываемая территория отнесена к категории техногенной пустоши с катастрофическим современным экологическим состоянием. Исходя из вышесказанного, очевидна необходимость дистанционного мониторинга состояния компонентов биоты в зоне воздействия указанного горнопромышленного объекта. Этот метод имеет несомненные достоинства (оперативность получения информации, возможность анализа динамики показателей за разные временные периоды, отсутствие необходимости проведения полевых работ с высокой периодичностью), но использование вегетационных и других индексов, полученных с помощью обработки спутниковой информации, в горной экологии не имеет широкого распространения (Опарин и др., 2014, Калабин, Галченко, 2007).

Материалы и методы

Методологической основой для проведения исследования стал комплексный экосистемный подход и основные положения учения В.И. Вернадского «Биосфера и ноосфера» в разрезе горных наук. Работа проведена с помощью комплекса современных научных методов, включающего методы дистанционного мониторинга по спутниковым снимкам, полевые исследования, структурный анализ для выявления факторов и причин возникновения происходящих изменений. Для оценки воздействия на растительность использовался нормализованный индекс растительности (NDVI), значения которого получены

с помощью спутникового сервиса мониторинга состояния растительности «Вега» (Лупян и др., 2011). На карту (рис.2) с шагом $4 \text{ км} \pm 500 \text{ м}$ схематически нанесена сеть полигонов, расположенных рядом с техногенными источниками (хвостохранилища ЦОФ, СОФ, на кл. Долгом; шламоотстойники, обогатительные фабрики, отвалы пустой породы, рудник Молодежный), а также на равноудаленном от них расстоянии по долинам рек Силюнка и Холдоми. С целью объективной оценки качества среды исследованы две фоновые точки (в районе оз. Амут и западнее месторождения Фестивальное).

Рис. 2. Сеть опробования, нанесенная на карту NDVI (2015 г.)

Площадь полигонов составила от 2 до 5 га. Анализировались данные по NDVI и климатическим характеристикам за период с 2001 по 2015 гг. в 29 неделю года, которая является серединой вегетационного периода для района исследования.

Результаты и обсуждение

Установлено, что основное воздействие на рост и развитие растительности оказывают техногенные факторы, но определенная роль принадлежит и факторам природного происхождения (температурный режим воздушной и почвенной среды, рельеф местности,

количество осадков, влажность и др.). С помощью спутниковой информации и ГИС-технологий открывается возможность оценить совокупность влияния перечисленных факторов на состояние биоты.

По результатам интегральной бальной оценки экологического риска эксплуатации месторождений цветных и редких металлов, проведенной сотрудниками ИГД ДВО РАН (Саксин, Бубнова, 2006), основанной на оценке природных условий, месторождения рассматриваемого района Перевальное, Солнечное, Придорожное и Фестивальное имеют суммарный балл 91, 78, 79, 103, соответственно. Исходя из этого, указанные объекты ранжированы по степени напряженности экологической обстановки следующим образом: Солнечное и Придорожное – неблагоприятная, Перевальное – существенно неблагоприятная, Фестивальное – крайне неблагоприятная. Установлено, что в Солнечном районе главный тип растительности – лесной. В ходе исследований выяснилось, что процессы самозарастания в зоне объектов Солнечного ГОКа полностью отсутствуют (по состоянию на 2005 г. (Растанина и др., 2010)). Однако на сопредельных территориях были обнаружены различные виды древесной, кустарниковой и травянистой растительности, являющиеся представителями вторичных фитоценозов. Для выявления наличия или отсутствия процессов самозарастания территории и наличия потенциала к самовосстановлению на отвалах Солнечного рудника заложена точка 17.

Анализ данных, полученных с помощью сервиса «Вега», позволил определить, что наибольшие значения вегетационного индекса соответствуют точкам 1 и 6, расположенным западнее рудника Молодежный и восточнее хвостохранилища ЦОФ Солнечного ГОКа. Наименьшие значения индекса зафиксированы в точке 9 на территории п. Солнечный (0,55–0,61). В период с 2001 по 2003 гг. установлен незначительный рост индекса на 0,01–0,09 практически во всех точках. В 2004 году отмечается резкое снижение значений как в отдельных точках, так и по району в целом. Следующие 4 года характеризуются стабильным плавным ростом показателя, значение которого снизилось в 2009 г. С 2001 по 2002 гг. отмечен незначительный рост индекса, затем – с 2011 г. до 2014 г. – спад показателя до значения 0,72. Это может быть связано с острой паводковой ситуацией, сложившейся в районе п. Горный в 2011 г., последствием которой явился прорыв дамбы хвостохранилища, сопровождавшийся выносом хранящихся отходов горного производства в р. Силинка. Анализ состояния растительности, по данным NDVI, выявил, что по всему профилю значение индекса составляет 0,65 и выше, что характеризует густую растительность. Таким образом, сохраняется тенденция роста значений нормализованного индекса, что свидетельствует об улучшении общего состояния растительности (рис. 3). Важен тот факт, что территория близко расположена к густым хвойным естественным лесам, что является мощным фактором, оказывающим влияние на интенсификацию сукцессионных процессов.

Для детализации обстановки вблизи техногенных источников создана наблюдательная сеть опробования вокруг ЦОФ Солнечного ГОКа (рис. 4). Исследованиями установлено (Бубнова, Озарян, 2012), что помимо загрязнения гидросети поллютантами, содержащимися в дренажных водах хвостохранилища, мощным источником загрязнения прилегающих участков является пыление поверхности хвостохранилища и ветровой перенос загрязня-

ющих веществ. Для изучения реальной картины состояния растительности в зоне воздействия хвостохранилища обследованы участки на расстоянии 400, 1000, 2000 и 3000 м. Площадь обследования составила 3100 га.

Рис. 3. Динамика NDVI в районе исследования за период с 2001 по 2015 гг.

Рис. 4. Динамика NDVI на откосах хвостохранилища ЦОФ

В процессе летних полевых работ в 2015 г. выявлено наличие начальной стадии процесса восстановления растительности у подножия хвостохранилища. В связи с этим изучены значения NDVI северо-восточного и восточного склонов и прилегающих территорий хвостохранилища. Выявлено, что площадкам свойственны общие тенденции изменения (увеличение и снижение) значений показателя за период с 2001–2015 гг. Однако с северо-восточной стороны зарастание происходит более интенсивно, и состояние растительности можно оценить как хорошее (рис. 4). Известно, что основными факторами, влияющими на интенсификацию процессов восстановления растительных сообществ, являются распо-

ложение нарушенного участка вблизи естественных растительных сообществ с богатым видовым составом, а также благоприятные природно-климатические условия. Отрицательно влияют: крутизна откоса, неблагоприятные физико-механические свойства субстрата, большая открытая пустая площадь, подвергнутая интенсивной ветровой эрозии, которая останавливает процесс закрепления и прорастания занесенных семян (Капелькина, 2012).

Очевидно, что зарастание территории и общее состояние растительности с северо-восточной стороны от хвостохранилища находится на более высоком уровне, однако нестабильность показателей позволяет говорить о неустойчивости образовавшихся первичных фитоценозов, возможность дальнейшего развития и обогащения растительного сообщества новыми видами сомнительна. По-прежнему сохраняется необходимость проведения рекультивационных мероприятий с учетом особенностей самовосстановительного потенциала территории. Для изучения пространственно-временного распределения вегетационного индекса в зоне воздействия хвостохранилища ЦОФ были выбраны сходные по видовому составу растительности точки в северном, восточном, западном и южном направлении от источника (рис. 5,6). Учитывая, что материалы сервиса «Вега» получены на основе данных с пространственным разрешением 250 м, в целях минимизации погрешности измерений полигоны расположены на расстоянии 400, 1000, 2000, 3000 м от источника.

Рис. 5. Распределение NDVI на различном расстоянии от техногенного источника (2010, 2015 гг.)

Анализ полученных данных свидетельствует о том, что в период с 2001 по 2015 гг., когда добыча и переработка на Солнечном ГОКе практически не велась, состояние растительности улучшилось, что подтверждается и проведенными в 2015 г. полевыми исследованиями. Выявлено, что в 2015 г. графики по всем полигонам совпадают, лишь небольшое отклонение от общих показаний отмечено на расстоянии 400 м от источника.

Практически во всех точках северного направления NDVI ниже, чем в остальных, что связано с расположением пос. Солнечный, который также оказывает влияние на состояние растительности. Мощным антропогенным фактором, оказывающим влияние на рост и развитие растительности, здесь является перенос пылевых потоков с поверхности хвостохранилища.

Рис. 6. Распределение NDVI на различном расстоянии от техногенного источника (2001, 2005 гг.)

На основе полученных данных можно сделать вывод о наличии восстановительного потенциала исследуемой территории, однако четких закономерностей или устойчивой динамики развития фитоценозов здесь не отмечено. Очевидно, что без антропогенного вмешательства, а именно – проведения рекультивационных мероприятий, этот процесс может длиться десятилетиями, а устойчивость и сохранность образовавшихся растительных сообществ будет находиться под угрозой влияния вторичных техногенных факторов.

Литература

1. Бубнова М.Б., Озарян Ю.А. Геоэкологическая оценка региональных природно-горнотехнических систем на юге Дальнего Востока // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2012. № 5. С. 189–196.
2. Зверева (Постникова) В.П. Экологические последствия техногенеза на оловорудных месторождениях Дальнего Востока // Рудные месторождения континентальных окраин. Владивосток: Дальнаука, 2000. С. 263–274.
3. Казначеев В.П. Учение В.И. Вернадского о биосфере и ноосфере: Отв. ред В.К. Шумный. Изд. 2-е. М.: Книжный дом «Либроком», 2010. 248 с.
4. Калабин Г.В., Галченко Ю.П. Методология количественной оценки нарушенных территорий по данным сопряженного дистанционного и наземного мониторинга и ее апробация // Экологические системы и приборы. 2007. № 2. С. 45–50.
5. Капелькина Л.П. О естественном зарастании и рекультивации нарушенных земель Севера // Успехи современного естествознания. 2012. № 11-1. С. 98–102.
6. Лупян Е.А., Савин И.Ю., Барталев С.А., Толпин В.А., Балашов И.В., Плотников Д.Е. Спутниковый сервис мониторинга состояния растительности («ВЕГА») // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 1. С. 190–198.
7. Мамаев Ю.А., Грехнев Н.И., Крупская Л.Т. Динамика формирования техногенных потоков рассеяния тяжелых металлов в гидросети Комсомольского горнопромышленного района // Горный информационно-аналитический бюллетень, отдельный выпуск «Дальний Восток». 2007. № 9. С. 435–442.
8. Опарин В.Н., Потапов В.П., Гиниятуллина О.Л. Оценка пылевого загрязнения атмосферы угледобывающих районов Кузбасса в зимний период по данным дистанционного зондирования Земли // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2014. № 3. С. 126–137.
9. Саксин Б.Г., Бубнова М.Б. Зональность техногенного загрязнения и ее использование при составлении обзорных прогнозно-экологических карт горнопромышленных территорий // Тихоокеанская геология. 2006. Т. 25. № 6. С. 67–76.
10. Саксин Б.Г. Прогнозная оценка регионального геохимического воздействия на окружающую природную среду добывающих предприятий цветной металлургии в условиях Востока России. Хабаровск: ИГД ДВО РАН, 2012. 190 с.

Integrated assessment of technogenic wasteland of Komsomolsk mining district using Vega satellite service

Y.A. Ozaryan

Mining Institute FEB RAS, Khabarovsk, 680000, Russia
E-mail: ozaryanigd@gmail.com

The paper investigates the quality of vegetation cover and its recovery processes in the zone affected by operations of Solnechnyi mining factory. For over 30 years the company was the largest producer of tin in the USSR. Using VEGA satellite vegetation monitoring service, NDVI dynamics in the study area for the period of 2001–2015 was analyzed. A set of test sites located near industrial sources and at distances from them was selected and examined. The analysis of index values in each test site during the period showed the prospects of self-recovery of vegetation in the affected areas. To get a real picture of the state of secondary vegetation in the impact zone of the factory mining tailings, a dense network of marked ranges were placed on its perimeter and along compass directions at step intervals of 200 m. The results of satellite monitoring were compared with data on formation of secondary phytocenoses obtained during field works by researchers of Institute of Mining FEB RAS until 2005. Alongside with known technogenic factors, natural and climatic conditions were revealed that influence demutation processes positively or negatively, also reasons for slow vegetation recovery were determined.

Keywords: natural and mine technical system, technogenesis, NDVI, VEGA service, vegetation self-recovery

Accepted: 14.12.2015

DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-1-70-78

References

1. Bubnova M.B., Ozaryan Yu.A., *Geoekologicheskaya otsenka regional'nykh prirodno-gornotekhnicheskikh sistem na yuge Dal'nego Vostoka* (Geoecological assessment of regional natural-mining systems in the south of the Far East), *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh*, 2012, No. 5, pp. 189–196.
2. Zvereva (Postnikova) V.P., *Ekologicheskie posledstviya tekhnogeneza na olovorudnykh mestorozhdeniyakh Dal'nego Vostoka* (Environmental consequences of technogenic deposits of tin ore in the Far East), In: *Rudnye mestorozhdeniya kontinental'nykh okrain*, Vladivostok: Dal'nauka, 2000, pp. 263–274.
3. Kaznacheev V.P., *Uchenie V.I. Vernadskogo o biosfere i noosfere* (Vernadsky's biosphere and noosphere), Moscow: Knizhnyi dom "Librokom", 2010, 248 p.
4. Kalabin G.V., Galchenko Yu.P., *Metodologiya kolichestvennoi otsenki narushennykh territorii po dannym sopryazhennogo distantsionnogo i nazemnogo monitoringa i ee aprobatsiya* (Methodology for quantifying disturbed areas according to the dual remote and ground-based monitoring and its testing), *Ekologicheskie sistemy i pribory*, 2007, No. 2, pp. 45–50.
5. Kapel'kina L.P., *O estestvennom zarastanii i rekul'tivatsii narushennykh zemel' Severa* (About overgrowing and natural revegetation North), *Uspekhi sovremennoy estestvoznaniya*, 2012, No. 11, pp. 98–102.
6. Loupian E.A., Savin I.Yu., Bartalev S.A., Tolpin V.A., Balashov I.V., Plotnikov D.E., *Sputnikovyi servis monitoringa sostoyaniya rastitel'nosti ("VEGA")* (Satellite service for monitoring the state of vegetation ("Vega")), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2011, Vol. 8, No. 1, pp. 190–198.
7. Mamaev Yu.A., Grekhnev N.I., Krupskaya L.T., *Dinamika formirovaniya tekhnogennykh potokov rasseyaniya tyazhelykh metallov v gidroseti Komsomol'skogo gornopromyshlennogo raiona* (Dynamics of formation of technogenic fluxes scattering of heavy metals in the drainage system of Komsomolsk mining district), *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, *Dal'nii Vostok Issue*, 2007, No. 9, pp. 435–442.
8. Oparin V.N., Potapov V.P., Giniyatullina O.L., *Otsenka pylevogo zagryazneniya atmosfery ugledobvyayushchikh raionov Kuzbassa v zimnii period po dannym distantsionnogo zondirovaniya Zemli* (Evaluation of atmospheric dust pollution of coal-mining areas of Kuzbass in winter from remote sensing data), *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh*, 2014, No. 3, pp. 126–137.
9. Saksin B.G., Bubnova M.B., *Zonal'nost' tekhnogennogo zagryazneniya i ee ispol'zovanie pri sostavlenii obzornykh prognoznno-ekologicheskikh kart gornopromyshlennykh territorii* (The zoning of technogenic pollution and its use in the preparation of environmental forecasting and survey maps of the mining areas), *Tikhookeanskaya geologiya*, 2006, Vol. 25, No. 6, pp. 67–76.
10. Saksin B.G., *Prognoznaya otsenka regional'nogo geokhimicheskogo vozdeistviya na okruzhayushchuyu prirodnuyu sredu dobyvayushchikh predpriyatii tsvetnoi metallurgii v usloviyakh Vostoka Rossii* (Forecast of regional geochemical environmental impact of mining enterprises of nonferrous metallurgy in the East of Russia), Khabarovsk: IGD DVO RAN, 2012, 190 p.