

Анализ временных изменений наземных экосистем на территории разработки месторождения алмазов им. М.В. Ломоносова по данным дистанционного зондирования Земли

Е.В. Полякова, М.Ю. Гофаров

*Институт экологических проблем Севера УрО РАН
163000, г. Архангельск, наб. Северной Двины, 23
E-mail: lenpo26@yandex.ru*

На территории Беломорско-Кулойского плато (Архангельская область) ведется активная деятельность по разработке месторождения алмазов им. М.В. Ломоносова. В результате возрастающей техногенной нагрузки происходит пространственно-временная трансформация естественных экосистем на данной территории. Данные дистанционного зондирования Земли, использованные для проведения анализа изменений наземных участков, включали в себя разновременные снимки с искусственных спутников Земли серии Landsat и охватывали 24-летний период (с 1987 по 2011 гг.). В результате на основе классифицированных данных получены карты различий, отражающие основные изменения дешифрируемых классов объектов за исследуемый временной период.

Ключевые слова: данные дистанционного зондирования Земли, месторождение алмазов, классы объектов, классифицированные данные, карты различий.

Введение

В настоящее время в Архангельской области на территории Беломорско-Кулойского плато ведется активная хозяйственная деятельность по разработке месторождения алмазов им. М.В. Ломоносова, сопровождающаяся, помимо собственно карьерных работ, строительством хвостохранилищ, развитием транспортной инфраструктуры, функционированием горно-обогатительного комбината (Ломоносовский ГОК) и пр. С экономической точки зрения данные виды работ имеют колоссальное значение, однако, и экологическая составляющая последствий алмазодобывающей промышленной деятельности на естественные растительные сообщества немаловажна. Работы по оценке воздействия производственно-хозяйственной деятельности на территории месторождения на окружающую природную среду проводились рядом авторов (Вержак, Третьяченко, 2006). Оценивались в основном такие параметры, как объемы техногенной нарушенности земель, общая площадь рубок леса. Также проводилась оценка фонового состояния и антропогенного загрязнения тяжелыми металлами почв и донных отложений на территории месторождения (Малов, 2000).

Данные дистанционного зондирования Земли являются качественно новым методом, используемым в проведении мониторинга за промышленными объектами. Анализ разновременных космических снимков и подбор оптимальной методики дешифрирования дает возможность классифицировать выделяемые объекты по различиям в спектральных характеристиках и подсчитывать площадные переходы и смешения классов изучаемых объектов попиксельно.

Характеристика района исследования

В географическом плане месторождение алмазов им. М.В. Ломоносова входит в состав Зимнебережного района Архангельской алмазоносной провинции (ААП) и располагается на территории Беломорско-Кулойского плато в северо-западной части Архангельской области (рис. 1). Территория характеризуется холодным гумидным климатом, здесь наблюдается сильное влияние арктических воздушных масс и атлантических циклонов. В связи с избы-

точным увлажнением на данной территории сформировалась густая речная и озерная сеть, многочисленные болота. Почвообразование протекает, главным образом, по подзолисто-подзолисто-глеевым почвам. В бассейне р. Золотица и по Зимнему берегу Белого моря распространены торфянисто-подзолисто-глеевые почвы. Современный растительный покров представлен растительностью лесного, лугового, болотного и водного типов (Гофаров и др., 2006). Месторождение представлено 6 кимберлитовыми трубками: Архангельская, им. Карпинского-1, им. Карпинского-2, Пионерская, Поморская, им. Ломоносова, расположенными в виде близмеридиональной цепочки общей протяженностью 9,5 км. В 2003 г. на трубке Архангельская начались вскрышные работы, что является началом промышленного освоения месторождения (Вержак и др., 2006). Согласно лесоустроительным материалам (Неволин и др., 2003) территория месторождения алмазов им. М.В. Ломоносова относится к Архангельскому лесничеству и входит в состав Поморского участкового лесничества. Все леса лесничества относятся к категории защитных. Однако земли кварталов 54-60, 76-82, 98-104, 119-124, 145-146 общей площадью 244 км² в настоящее время переданы под разработку месторождения им. М.В. Ломоносова, леса этих кварталов выведены из категории защитных (Герасимов и др., 2008).

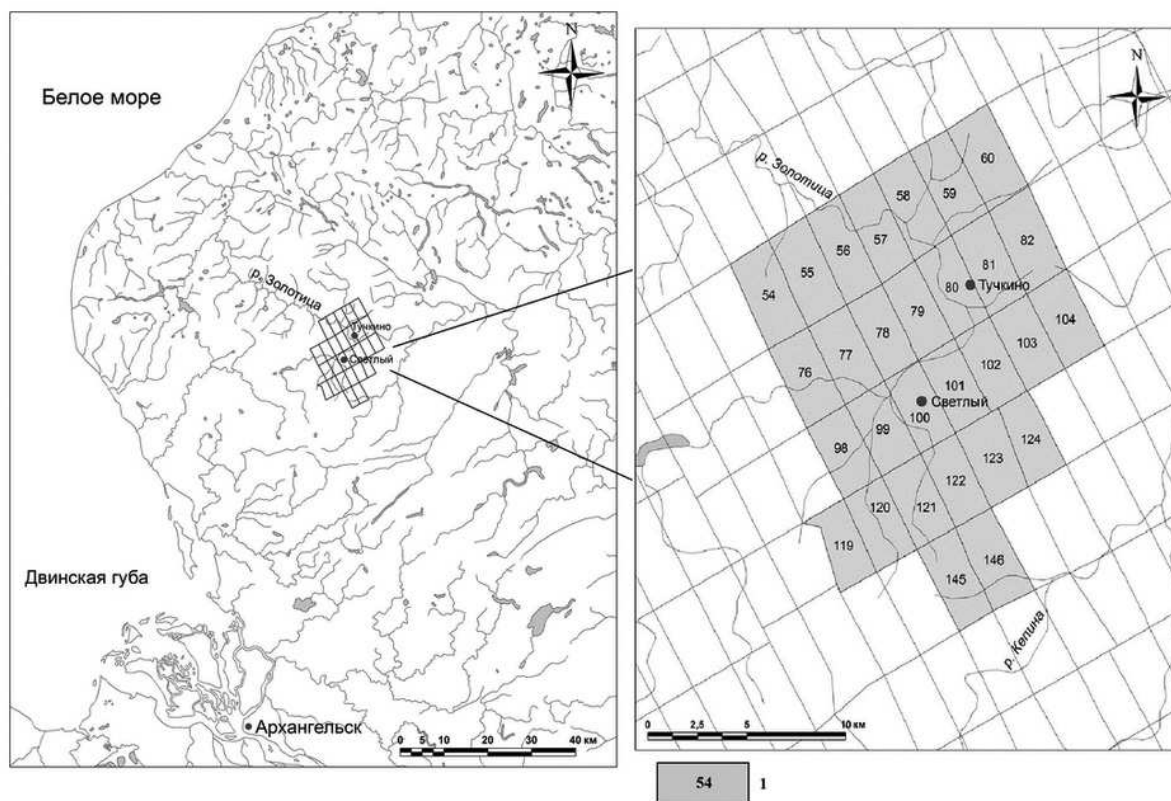


Рис. 1. Месторасположение района исследований: 1 – номера кварталов Поморского участкового лесничества, отведенных под разработку месторождения алмазов им. М.В. Ломоносова

Материалы и методика работ

Данные дистанционного зондирования Земли, использованные для исследования состояния наземных экосистем на территории разработки месторождения алмазов, включали в себя разновременные снимки с искусственных спутников Земли Landsat-5 (5.06.1987), Landsat-7 (31.05.2000), Landsat-5 (12.08.2006), Landsat-5 (7.06.2011). Выбор снимков обуславливается сезонностью (летний период), разрешением (30 м), схожестью физиологи-

ческого состояния растительного покрова, как наиболее вариабельного в спектральном отношении показателя, а также полным отсутствием облачности. Для дешифрирования сцен применялась классификация с обучением (Supervised Classification) методом максимального правдоподобия (Maximum Likelihood Classification). Данный способ предполагает, что статистические данные для каждого класса в каждом канале распределяются обычно, и вычисляет вероятность, что данный пиксел принадлежит определенному классу. Каждый пиксел относится в тот класс, который имеет самую высокую вероятность (т.е. максимальную вероятность). Дешифрирование проводилось по 7 классам объектов. Выбор эталонов для обучения осуществлялся вручную, для идентификации использовались данные QuickBird (14.06.2006) из интерфейса Google Earth, а также наземные исследования, проводимые в ходе экспедиционных работ на территории месторождения. Далее, на основе классифицированных данных, проводилось сопоставление классов начального и конечного изображений за 24-летний период и подсчитывалась статистика изменений (Change Detection Statistics) по каждому классу объектов. Затем создавались карты различий (Compute Difference Map). Различия вычислялись путем вычитания изображения начального состояния из изображения конечного состояния. Вся обработка проводилась в программных пакетах ERDAS IMAGINE 9.3, ESRI ArcGIS 10.

Результаты работ и обсуждения

На территории разработки месторождения алмазов им. М.В. Ломоносова для дешифрирования выделялось 7 классов объектов, характеристика которых приведена в таблице 1.

Таблица 1. Характеристика основных классов объектов

№ п/п	Класс объектов	Характеристика класса
1	Хвойные насаждения	Хвойные леса, занимающие большую часть исследованного района и представленные, в основном, ельниками и сосняками чернично-зеленомошными, а также разреженные хвойные насаждения
2	Смешанные и лиственные насаждения	Смешанные хвойно-лиственные леса (сосново-березовые, елово-березовые, сосново-елово-березовые, елово-осиновые и т.д.), а также ивняки по берегам водотоков
3	Кустарники, заболоченные кустарники, редколесье на болотах	Данные объекты объединены в один класс, поскольку обладают одинаковой спектральной яркостью на используемых космических снимках
4	Луга и заболоченные луга, зарастающие обочины дорог	Данные объекты объединены в один класс, поскольку обладают одинаковой спектральной яркостью на используемых космических снимках
5	Болота	Болота сфагновые верховые, часто грядово-мочажные
6	Обнажения грунтов, дороги и производственно-технологические объекты, вырубки	Все проявления грунтов, производственно-технологические объекты, представленные карьерами, геологоразведочными объектами и технологическими дорогами, а также вырубленные участки леса
7	Водные объекты	Водные поверхности, занимающие наименьшую площадь исследуемой территории и крайне плохо поддающиеся дешифрированию

При визуальном дешифрировании исходной информации (рис. 2) четко выделяются лишь технологические объекты (класс 6). Однако такой способ дешифрирования не позволяет выделить существенных площадных отличий между остальными классами объектов.

Современные информационные системы дают возможность анализировать данные с мультиспектральных сенсоров с более высокой точностью, позволяя детально характеризовать наземные участки (Polyakova, 2011). При использовании метода классификации с обучением выявляются некоторые различия в пространственном распределении выделенных классов объектов за период с 1987 по 2011 гг. (рис. 3).

На основе полученных классификаций проведена статистика изменений. Для этого вначале было проведено сопоставление классов начального и конечного классифицированных изображений. Составлены пары изображений для выявления статистических изменений следующего характера: 1987–2000 гг., 2000–2006 гг., 2006–2011 гг., 1987–2006 гг., 1987–2011 гг. В результате получены сводные статистические данные, приведенные в таблице 2, отображающие пространственные изменения в дешифрируемых классах объектов на территории месторождения за 24-летний период. В статистической таблице в столбцах указываются классы начального состояния, в рядах – классы конечного состояния. Внутри таблицы показано распределение пикселей, изменивших свой первоначальный класс. Для удобства восприятия пиксели классов объектов пересчитаны в метрические единицы (км²) и проценты (%).

Таблица 2. Пространственные изменения дешифрируемых классов объектов на территории месторождения им. М.В. Ломоносова за период с 1987 по 2011 гг.

		Начальное состояние класса, км ² / %							Площадь класса в конечном состоянии, км ²	Площадь класса от начального состояния, %
		1	2	3	4	5	6	7		
Конечное состояние класса, км ² / %	1	38.88 / 63.22	24.26 / 28.18	4.83 / 13.61	0.49 / 2.37	3.30 / 9.30	0.23 / 5.03	0.00 / 0.00	71.99	117.06
	2	15.28 / 24.85	41.85 / 48.61	12.31 / 34.69	1.40 / 6.71	7.98 / 22.49	0.67 / 14.66	0.00 / 2.33	79.49	92.33
	3	3.35 / 5.45	11.37 / 13.20	11.61 / 32.72	6.36 / 30.45	12.02 / 33.88	1.02 / 22.52	0.01 / 16.28	45.73	128.89
	4	0.33 / 0.54	1.07 / 1.24	2.60 / 7.31	10.24 / 49.07	4.55 / 12.81	0.20 / 4.46	0.00 / 0.00	18.98	90.95
	5	0.30 / 0.49	1.11 / 1.28	0.68 / 1.91	0.82 / 3.93	5.31 / 14.97	0.03 / 0.72	0.02 / 44.19	8.26	23.29
	6	3.36 / 5.46	6.43 / 7.47	3.46 / 9.76	1.56 / 7.48	2.30 / 6.49	2.39 / 52.61	0.00 / 0.00	19.50	429.90
	7	0.00 / 0.01	0.01 / 0.01	0.00 / 0.00	0.00 / 0.00	0.02 / 0.05	0.00 / 0.00	0.01 / 37.21	0.04	113.95
Площадь класса в начальном состоянии, км ² / %		61.50 / 100.00	86.09 / 100.00	35.48 / 100.00	20.87 / 100.00	35.48 / 100.00	4.54 / 100.00	0.03 / 100.00	Общая площадь месторождения – 244.00 км ²	
Изменения в начальном состоянии, км ² / %		22.62 / 36.78	44.24 / 51.39	23.87 / 67.28	10.63 / 50.93	30.17 / 85.03	2.15 / 47.39	0.02 / 62.79		
Различие между начальным и конечным состоянием, км ² / %		10.49 / 17.06	-6.61 / -7.67	10.25 / 28.89	-1.89 / -9.05	-27.22 / -76.71	14.97 / 329.90	0.00 / 13.95		

В целом за исследуемый период наиболее подверженные изменениям оказались классы 6 (технологические объекты) и 5 (болота). В 1987 г. площадь класса 6 составляла 4.54 км², к 2011 г. – 19.5 км². Увеличение площади составило порядка 330 %, что связано с активным промышленным освоением месторождения, развитием инфраструктуры, строительством новых дорог. Рост класса технологических объектов достигается за счет равномерного перехода в него всех остальных классов, за исключением класса 7 (по классу 7 следует отметить, что находящиеся на исследуемой территории водотоки имеют ширину меньшую, чем разрешение космоснимков (30 м) и не поддаются дешифрированию, распознаются лишь некоторые технические водоемы, площадь которых учитывается в таблице 2). Трансформации пикселей классифицированных объектов наглядно прослеживаются на общей карте изменений (рис. 4), где белым цветом показаны неизменившиеся участки, цветами – переходы пикселей в соответствующий класс.

Несмотря на то, что болота являются детерминирующей структурой для микроклимата данной территории, площади их подвержены колебаниям, что связано с изменением климатических факторов в течение летнего сезона – количеством осадков и температурой и, как следствие, вариабельностью площадных и морфометрических параметров (протяженность границ, их извилистость, форма болота в целом), сезонным зарастанием травянистой растительностью. За исследуемый период площадь болот сократилась с 35.48 до 8.26 км², общее уменьшение составило порядка 77 %.

Остальные классы существенных изменений за период с 1987 по 2011 гг. не испытывают. Можно отметить естественный сукцессионный процесс восстановления лесонасаждений, что проявляется в уменьшении контрастности границ вырубленных участков на исходных данных (рис. 2) и характеризуется зарастанием вначале луговой и кустарниковой растительностью, затем лиственным и хвойным редколесьем, что отчетливо прослеживается на классифицированных данных (рис. 3).

Выводы

До появления общедоступных картографических и архивных данных по лесоустройству и материалов мезомасштабной космической съемки проведение работ по выявлению и анализу закономерностей пространственного распределения и изменения растительного покрова сопровождалось определенной сложностью. Высокий современный уровень развития ГИС-технологий и систем дистанционного зондирования Земли в настоящее время позволяет перейти к выявлению количественных характеристик и связей между различными компонентами ландшафтов.

Анализ разновременных космических снимков на территорию разработки месторождения алмазов им. М.В. Ломоносова за период с 1987 по 2011 гг. с использованием классификации с обучением, постклассификационной обработки и обнаружения изменений путем составления статистики и расчета карты различий показал, что отмечаются некоторые изменения площадей всех выделяемых классов объектов, связанных как с активной хозяйственной деятельностью, так и с естественными сукцессионными процессами. Наиболее сильно изменившимися классами являются класс технологических объектов и класс болот. Остальные классы существенным изменениям не подвергаются. В целом антропогенное воздействие алмазодобывающей деятельности на состояние естественных ландшафтов носит сугубо локальный характер и выражается в виде рубок леса под технологические объекты, строительства дорог и размещения шлакоотвалов.

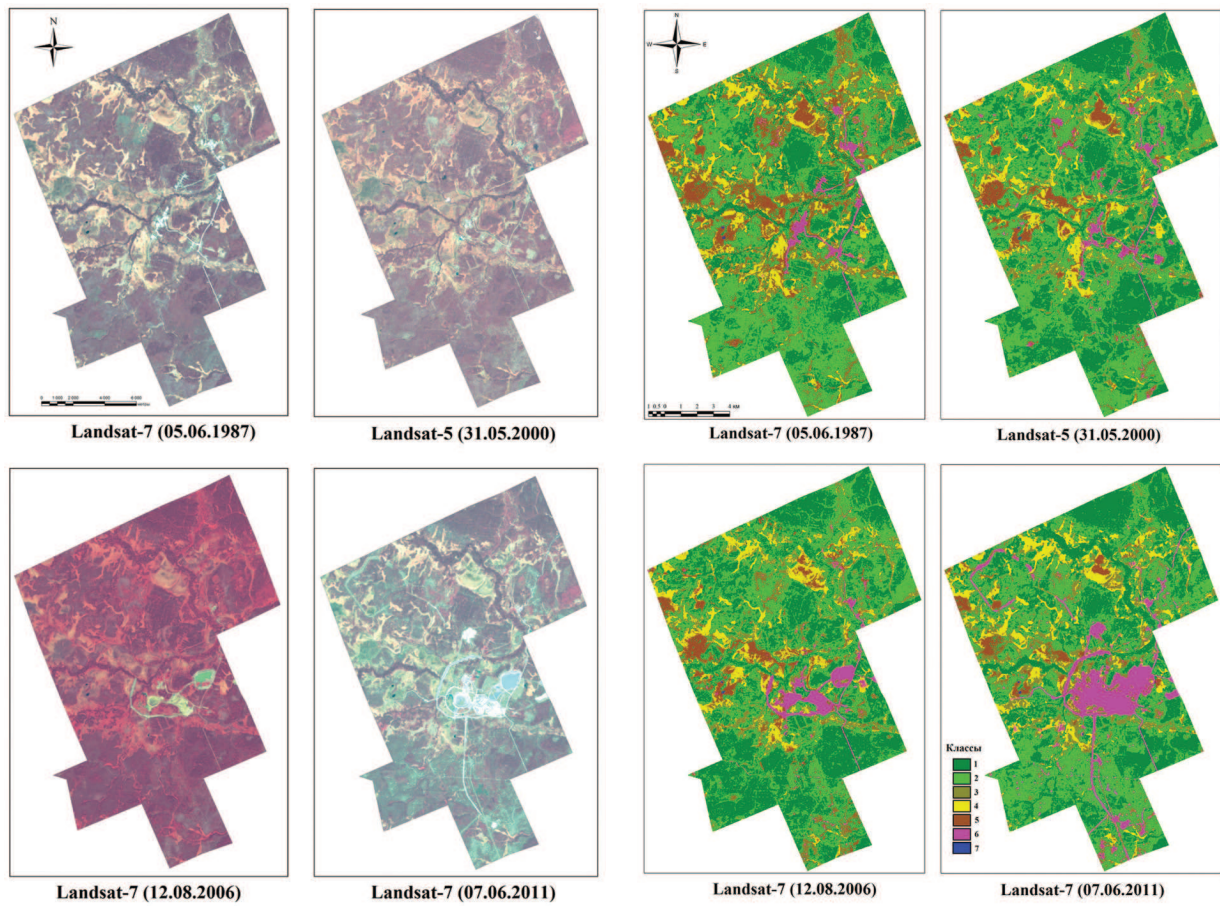


Рис. 2. Исходная информация со спутников серии Landsat

Рис. 3. Классифицированные данные со спутников серии Landsat

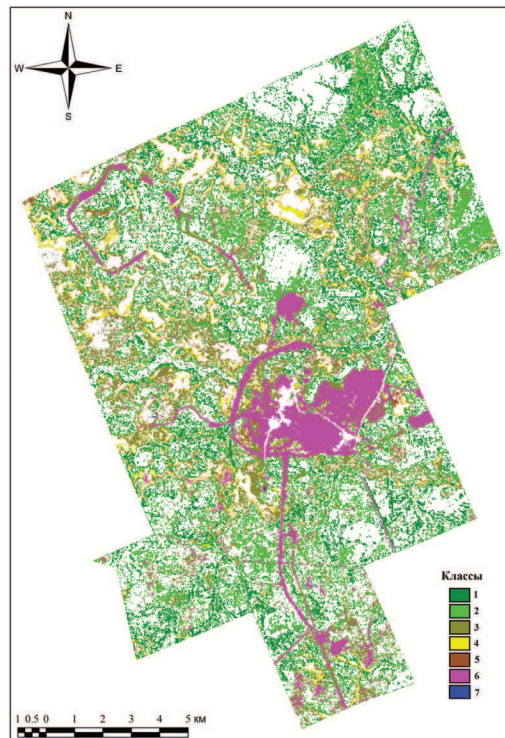


Рис. 4. Общая карта изменений за период с 1987 по 2011 гг.

Литература

1. *Вержаск Д.В., Гаранин К.В., Шпилевая Д.В.* Алмазные месторождения Архангельской области и экологические проблемы их освоения // Вестник Московского университета. Сер. 4. Геология, 2005. № 6. С. 18–27.
2. *Вержаск Д.В., Третьяченко В.В.* Оценка воздействия геологоразведочных работ на окружающую среду (на примере центральной части Зимнебережного алмазоносного района) // Академическая наука и ее роль в развитии производительных сил в северных регионах России. Матер. междунар. конфер. [Электронный ресурс]. – Архангельск: ИЭПС УрО РАН, 2006.
3. *Герасимов Ю.Ю., Марковский А.В., Ильина О.В., Добрынин Д.А.* Анализ ограничений лесопользования на ООПТ и малонарушенных лесных территориях Архангельской области // Working Papers of the Finnish Forest Research Institute. – Helsinki, 2008. 86. 116 P.
4. *Гофаров М.Ю., Болотов И.Н., Кутинов Ю.Г.* Ландшафты Беломорско-Кулойского плато: тектоника, подстилающие породы, рельеф и растительный покров. – Екатеринбург: УрО РАН, 2006. 160 с.
5. *Малов А.И.* Оценка фоновое состояние и антропогенного загрязнения тяжелыми металлами почв и донных отложений Юго-Восточного Беломорья // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология, 2000. №2. С. 144-149.
6. *Неволин О.А., Третьяков С.В., Ердяков С.В., Торхов С.В.* Лесоустройство. – Архангельск: Правда Севера, 2003. 583 с.
7. *Polyakova E.V.* Activitys on extraction of diamonds influence in territory of Belomorsko-Kulojskoe plateau on a condition of forest communities // European researcher, 2011. No 7 (10). P. 1118-1125.

The analysis of time changes of land ecosystems in territory of working out of the deposit of diamonds by M.V. Lomonosov according to the data of remote sensing of the Earth

E.V. Poljakova, M.J. Gofarov

*The Institute of ecological problems of the North UD RAS
163000, Arkhangelsk, emb. of Northern Dvina, 23
E-mails: lenpo26@yandex.ru*

On the territory of the Belomorsko-Kulojskoe of a plateau (Arkhangelsk region) is actively working to develop a diamond deposit by M.V. Lomonosov. As a result of increasing anthropogenic loading there is an existential transformation of natural ecosystems in the given territory. The data of remote sounding of the Earth, used for carrying out of the analysis of changes of land sites, included pictures occurring at different times from artificial companions of the Earth of series Landsat and covered the 24-year-old period (with 1987 for 2011). As a result on the basis of the classified data the maps of differences by the decryption classes of objects for the analyzed period are received.

Keywords: data of remote sensing of the Earth, diamond deposit, the classes of objects, classified data, maps differences.