

Спутниковая съемка в экологическом мониторинге регионов добычи углеводородов

В.В. Елсаков

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
167610, Сыктывкар, Коммунистическая, 28
E-mail: elsakov@ib.komisc.ru

В работе представлены основные результаты, полученные при выполнении мониторинговых исследований на территории месторождений углеводородов Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции. Совместное привлечение разновременных данных оптического диапазона и радиолокационных изображений стало основой для выполнения комплексных исследований затронутых хозяйственной деятельностью территорий.

Ключевые слова: месторождения углеводородов, спектрозональная и радиолокационная спутниковая съемка.

Введение

Поликомплексность действующих факторов и гетерогенность природных систем на территориях месторождений углеводородного сырья определяют значительную вариабельность техногенных нарушений их структуру и свойства (Солнцева, 1998). Это значительно усложняет работы по оценке воздействий на окружающую среду, при проведении мониторинговых исследований, планированию и выполнению рекультивационных мероприятий. В большинстве случаев расположение объектов добычи и транспортировки углеводородов охватывает несколько фациальных выделов, характер их воздействий изменяется во времени, а экосистемные перестройки определяются положением и «встраиванием» нарушенных участков и техногенных потоков в сложившиеся ландшафтные комплексы. Чаще всего при выявлении пространственной дифференциации характеристик экосистем, в качестве основы принимается геоморфологический и орографический анализ, предполагающий, что рельеф является одним из важнейших факторов их дифференциации. Однако, несмотря на широкое распространение метод пластики рельефа, вызывает множественные споры и нарекания среди отдельных специалистов-почвоведов (Гедымин, Сорокина, 1988).

Для учета пространственно-временных особенностей состояния экосистем, испытывающих влияние производственной деятельности, все чаще используются данные дистанционного зондирования (ДДЗ). Материалы различных видов аэрокосмической съемки привлекаются еще на стадии проектирования объектов добычи и транспортировки углеводородного сырья как обязательные информационные источники (СП 11-102-97 п. 4.1, 4.3). Основой использования космических изображений в практике картирования и экологического зонирования территории является интегрирующая роль спектров регистрируемого отражения и основная задача сводится к выделению особенностей интересующих исследователя. Ряд возможностей использования таких данных применительно задач экосистемного мониторинга и ландшафтного зонирования месторождений углеводородного сырья рассмотрена нами в процессе выполнения работ в рамках инженерных изысканий, подготовке материалов по оценке воздействия на окружающую среду, ведомственных мониторинговых исследований.

На территории Республики Коми запасы углеводородов Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции (ТПНГП) формируют более 200 месторождений, разработка которых связана с существенными изменениями компонентов естественных экосистем. Несмотря на жесткие требования в области охраны окружающей среды, предъявляемые к осваивающим природные ресурсы компаниям, в большинстве экосистем на территории месторождений и в прилегающих районах отмечаются разномасштабные изменения.

Среди методологических принципов, позволяющих расширить спектр решаемых задач с использованием данных ДЗ, нами выделено:

- комбинирование данных ДЗ высокого, среднего и низкого пространственного разрешения. Использование космических снимков различного уровня пространственной генерализации, что позволяет выделить роль ландшафтных (фациальных), геоморфогенных и климатогенных условий на формирование видовых и структурных особенностей фитоценозов, хорологические закономерности их распределения;

- сочетание данных дистанционного зондирования различного диапазона электромагнитного излучения (оптического и радиодиапазонов), для районирования модельных участков по экологическим градиентам (температурный режим, механический состав почв, условия увлажнения), и оценки их эколого-ценотических особенностей, влияющих на видовое разнообразие фитоценозов. Использование радиолокационных изображений дециметрового диапазона (SAR) для выявления пространственных особенности распределения отдельных групп почвенных условий (засоление, глубина протаивания сезонно-талого слоя, варьирования механического состава, влагонасыщенности грунтов, вертикальных смещений участков и др.);

- составление временных серий изображений для выявления закономерностей интенсивности и направленности хорологических трансформаций фитоценозов. Отметим, что вопросы естественных сукцессионных смен и процессов, связанных с изменениями сообществ под антропогенным влиянием в настоящее время изучены достаточно слабо. Это, прежде всего, связано с комплексным воздействием факторов разного рода (механические, химические, термические и т. д.) и отсутствием опыта комплексных и долговременных наблюдений. Сочетание разновременных данных дистанционного зондирования позволит установить наиболее важные тренды изменений тундровых фитоценозов под влиянием естественных и антропогенно-обусловленных причин.

Результаты и их обсуждение

Основными материалами спутниковых съемок, привлекаемыми для выполнения мониторинговых работ на территории месторождений, остаются данные оптических (Landsat, Aster) и радиолокационных съемок спутника ALOS/Palsar. Использование цифровой модели местности (DEM), построенной по данным стереопар радиолокационных изображений в сопоставлении с пространственно позиционированными данными о нахождении буровых площадок, шламонакопителей и участков аварийных выбросов, позволило оценить возможные пути миграции загрязнителей и их аккумуляцию на территории, поступление в водотоки и водоемы территории (Стенина и др., 2010). Среди наиболее чувствительных индикаторов любых экосистемных перестроек региона являются, прежде всего, показатели состояния растительного и почвенного покрова (видовой состав, структура, функциональная активность компонентов), поскольку они отражают интегральное воздействие любых

возмущающих факторов. Интегральная природа полученных оценок обусловлена подверженностью растительных сообществ как прямому, так и опосредованному влиянию любых природных и антропогенных факторов. В связи с этим основой выполнения работы является построение тематических карт растительного покрова (M от 1:30 000). Использование материалов спутниковых съемок для геоботанического картирования достаточно распространено и затрагивалось авторами ранее (Елсаков, Щанов, 2004, 2005). В ряде случаев полученные при классификации растительного покрова контура выступают в качестве основы для выделения почвенных разностей, а группы выделенных растительных сообществ в качестве вторичных дешифровочных признаков. В связи с тем, что распределение растительного покрова определяется ландшафтной приуроченностью, полученные картографические материалы имеют более высокую степень детальности и меньшую масштабную генерализацию, чем построенные по топографическим материалам (рис. 1а).

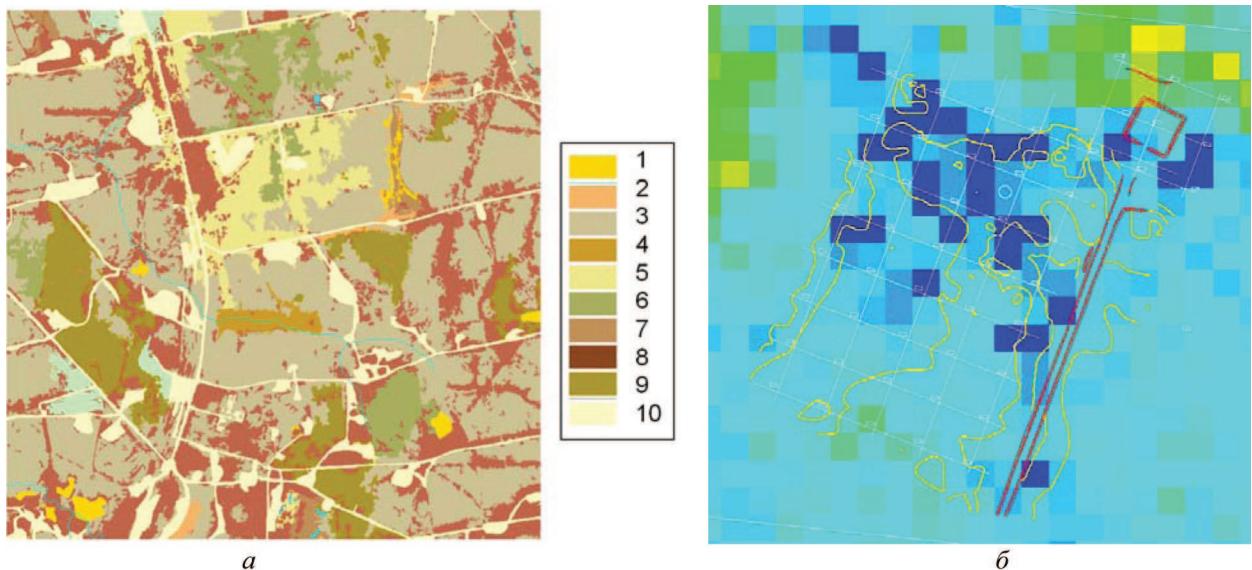


Рис. 1. Фрагмент подготовленной почвенной карты Усинского месторождения (а) по материалам съемки спутника Landsat, выполненный в масштабе 1:50 000. Цифрами обозначены почвенные разности: 1 – торфяно-тундровая глеевая (Тб2); 2 – комплекс: аллювиальная болотная и аллювиальная дерново-глеевая (Ab); 3 – торфянисто-подзолисто-глееватая иллювиально-гумусовая (Пб1ИГ); 4 – комплекс: аллювиальная дерново-глеевая и аллювиальная болотная (АДГ); 5 – торфяно-подзолисто-глеевая иллювиально-гумусовая (Пб2ИГ); 6 – подзол иллювиально-гумусово-железистый (П4ГЖ); 7 – болотная низинная перегнойно-глеевая (БнПГ); 8 – подзол иллювиально-железистый (П4); 9 – болотная верховая торфяно-глеевая (Бв1); 10 – технозем: литострат и токсилитострат (ТнЛ и ТнЛТ). Участок Шельяюрского месторождения Республики Коми (б). Совмещенные проектные материалы площадки буровой скважины (красные линии) в пределах Красноборского болота и материалов съемки Landsat (рассчитанный индекс NDVI) позволяют выделить возможные пути миграции техногенных загрязнений с площадки

Использование производных значений спектральных характеристик (спектральных индексов) позволило наблюдать разнородность биогеоценозов по отдельным показателям. Анализ распределения индекса NDVI, связанного с запасом надземной фитомассы и обводненностью сообществ в пределах Красноборского болотного массива (Ижемский р-н РК), позволило выделить сосново-сфагновые фитоценозы с наибольшей степенью обводненности (меньший запас фитомассы), «стокоформирующие» участки, фрагменты болотных массивов с высокой интенсивностью водного обмена (рис. 1б). Полученные изображения позволили оценить направленность водного стока, возможные миграционные пути распространения загрязнителей, поступающих на рельеф при аварийных выбросах от одиночных

оборудованных скважин и кустов, нефтепроводов, рассчитать площадь возможного разноса загрязняющих веществ, что подтверждено инструментальными и аналитическими методами измерений.

Использование разновременных изображений делает материалы спутниковых съемок важным источником информации, раскрывающим причины, направленность и интенсивность изменений экосистем во времени. Степень корректности получаемых данных возрастает при параллельном выполнении полевых и спектрометрических измерений. Так для оценки усыхания древесных пород, связанных как с аварийными разливами пластовых вод, так и в результате подтопления, были использованы данные, полученные при использовании переносного портативного спектрорадиометра ASD Field Spec HH (hand held). Анализ спектральных характеристик отражательной способности хвои ели и сосны при высыхивании показывает, что максимум варьирования величины отраженного излучения при изменении содержания влаги наблюдается в промежутке спектра с длиной волны 750...800 нм (рис. 2), что подчеркивает важность использования четвертого канала Landsat.

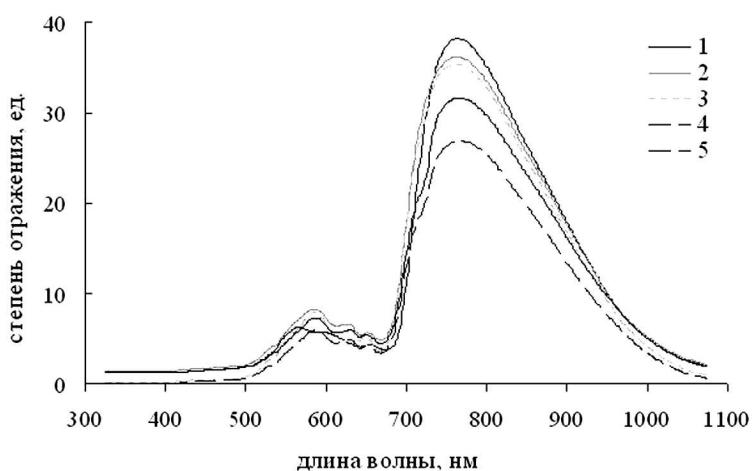


Рис. 2. Особенности спектров отражения хвои сосны (*Pinus sylvestris*) при различном запасе влаги (в % от сухой массы). Цифрами обозначены величины запаса влаги (%): 1 – 55; 2 – 45; 3 – 35; 4 – 5; 5 – 2

В результате обработки разновременных изображений для ряда месторождений отмечены процессы развития подтопления. К примеру, для территории Яргского месторождения нефти наблюдается усыхание участков смешанного ельника (6Е4Б, высота елей 10...12 м, усохшие деревья 60 %) на площади порядка 7 га. Яргское месторождение входит в состав трех наиболее крупных месторождений Республики Коми (наряду с Усинским и Возейским) дающим более половины (56 %) остаточных извлекаемых запасов нефти Республики (Государственный..., 2011). Наиболее интенсивное проявление процесса относится к периоду наблюдений после 2000 г и связано с прокладкой автопроезда (рис. 3). В травяном покрове трансформированных фитоценозов доминируют пушица влагалищная (*Eriophorum vaginatum*), осока шаровидная (*Carex globularis*) отмечено интенсивное развитие сфагновых мхов.

Схожие по спектральным показателям контура формируют и лесные массивы, подверженные влиянию аварийного разлива пластовых вод. В настоящее время данный вид нарушений встречается достаточно часто вблизи объектов сбора и первичной переработки нефти. В фитоценозах древостой часто представлен сухими деревьями, с опавшей или опадающей корой. Напочвенного мохового и лишайникового покрова нет. Кустарнички отсутствуют. Участки часто находятся в стадии формирования первичного травяного покрова, за

счет устойчивых рудеральных апофитных видов. Наиболее активным видом, занимающим нарушенную территорию, является мать-и-мачеха (*Tussilago farfara*), обилие которой достигает здесь 15 %. Совместно (до 15 % проективного покрытия) территория заселяется видами: кипрей железистостебельный (*Epilobium ciliatum*) – особи которого отмечены на участках локальных депрессий, заполненных талой водой, вейником (*Calamagrostis sp.*), пушицей влагалищной и п. шейхцера (*Eriophorum vaginatum*, *E.Scheuchzeri*), которые приурочены преимущественно к периферийным участкам нарушенного фитоценоза, граничащим с ненарушенными сообществами. Единичны экземпляры иван-чая узколистного (*Chamaenerion angustifolium*), нередко достигающие высоты до 1,0 и 1,5 м.

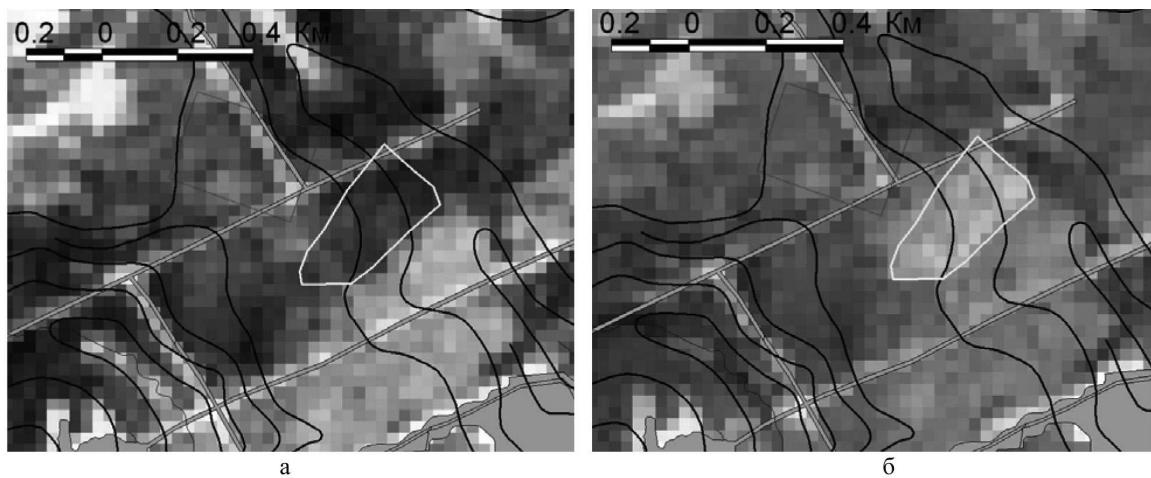


Рис. 3. Развитие процесса подтопления участка елового древостоя вблизи площадки куста нагнетательной скважины Ярегского месторождения 8.6.2000 (A), 23.5.2005 (B). Участок подтопления отмечен белым контуром, черным представлены изолинии рельефа

Важные данные применительно анализа экосистем месторождений получены с привлечением возможностей использования радиолокационной дифференциальной интерферометрии (РДИ) для оценки вертикальных смещений земной поверхности (Евтушкин, Филатов, 2009; Филатов, 2006). В ряде случаев выявленные смещения отмечают участки с начальными этапами изменений характеристик растительного покрова, естественных сукцессионных смен фитоценозов и должны учитываться при проектировании инженерных сооружений. Для отвода Ярегского месторождения привлечение материалов РДИ позволило установить отдельные участки, на которых вертикальные межгодовые и межсезонные смещения имеют существенные величины, их проявления связывают с производственной деятельностью (рис. 4). Расположенные инженерные сооружения и строения на границе участков, испытывающих различную направленность и интенсивность смещений, демонстрируют максимальную деформацию конструкций и зданий (Бобракова, 2011; Сажина, 2011).

Таким образом, на сегодняшний день, очевидно, что комплексный, оперативный характер экосистемных исследований может достигаться максимальным сочетанием традиционных методов с данными оптических и радиолокационных сенсоров, долговременными инструментальными наблюдениями на стационарных площадках, использованием временных серий космических изображений, позволяющих наблюдать за динамикой компонентов природных экосистем и фенологическими сменами растительного покрова.

Работа выполнена в рамках программы научных исследований УрО РАН «Реакция экосистем криолитозоны Европейского Севера и Западной Сибири на климатические

флуктуации последних десятилетий» (12-C-4-1018), материалы съемки ALOS/Palsar получены для выполнения научного проекта «Изменения растительного покрова Европейского северо-востока России в экологических градиентах по данным радарной и оптической съемки» Японского космического агентства (JAXA) в рамках III Исследовательской программы ALOS (PI 546).

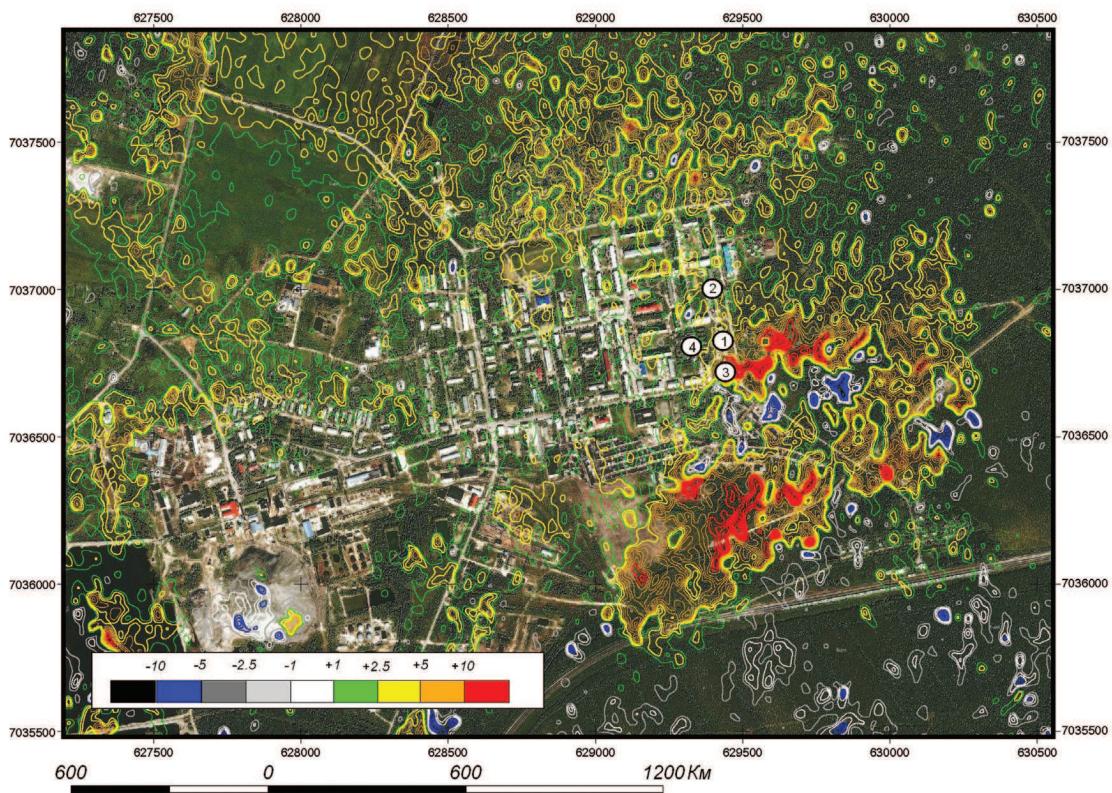


Рис. 4. Схема участков, испытывающих существенные вертикальные смещения поверхности по результатам РДИ (см). Материалы съемки ALOS/Palsar (9.8.2007 и 29.6.2009). Цифрами обозначены жилые постройки пос. Ярега признанные аварийными и нарушенными

Литература

1. Бобракова Г. Трещины в Яреге и бассейн в Водном проинспектировала в рабочей поездке Марина Истиховская // Республика. 2011. 22 февр. № 36 (4433).
2. Гедымин А.В., Сорокина Н.П. О методе пластики рельефа // Почвоведение. 1988. № 6. С. 110–121.
3. Государственный доклад «О состоянии окружающей природной среды в Республике Коми в 2010 году» / Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды РК, ГУ «ТФИ РК». Сыктывкар, 2011. С. 116.
4. Евтошкин А.В., Филатов А.В. Оценка деформаций земной поверхности в районах интенсивной нефтедобычи Западной Сибири методом PCA интерферометрии по данным ENVISAT\ASAR и ALOS\PALSAR // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2009. Вып. 6. Т. 2. С. 46–53.
5. Елсаков В.В., Щанов В.М. Дистанционный мониторинг разновременных нарушений растительного покрова в районах добычи и транспортировки нефти // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2004. С. 152–155.
6. Елсаков В.В., Щанов В.М. Развитие топологических подходов при комплексных ландшафтных исследованиях экосистем Европейского Севера дистанционными методами // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Физические основы, методы и тех-

- нологии мониторинга окружающей среды и потенциально опасных явлений и объектов. 2005. С. 267–272.
7. Сажсина О. Подальше от нефтешахт // Республика. 2011. 9 февр. 2011. № 24 (4421).
 8. Солнцева Н.П. Добыча нефти и геохимия природных ландшафтов. М.: Изд-во МГУ, 1998. 376 с.
 9. Стенина А.С., Елсаков В.В., Хохлова Л.Г. Состояние водных экосистем в районе месторождений углеводородного сырья в бассейне средней Печоры по данным гидрохимического и биологического анализов // Водные ресурсы. 2010. Т. 37. № 4. С. 565–574.
 10. Филатов А.В. Обнаружение подвижек земной поверхности в зоне интенсивной нефтедобычи методами радарной интерферометрии // Вестник Югорского государственного университета. 2006. № 4. С. 103–109.

The remote sensing data in ecological monitoring of carbohydrates deposits

V.V. Elsakov

*Institute of Biology Komi SC UrD RAS
167610, Syktyvkar, Kommunisticheskaja, 28
E-mail: elsakov@ib.komisc.ru*

The results of remote sensing approaches using in ecological monitoring of carbohydrates deposits of Timan-Pechora region are presented in article. The combination of data of optical and radar sensors was the main source of data for complex monitoring research.

Keywords: carbohydrate deposits, spectrazonal and radar satellite images.