

УДК 528.88: 504.03

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ РЫНКА ЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛУГ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ КОСМИЧЕСКОЙ СЪЁМКИ И НАТУРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

© 2016 Л.М. Кавеленова¹, Н.В. Прохорова¹, А.В. Ращупкин²¹Самарский национальный исследовательский университет имени акад. С.П. Королёва²АО «РКЦ «Прогресс», г. Самара

Статья поступила в редакцию 11.07.2016

В статье представлен анализ современного состояния проблемы экономически выгодного использования возможностей дистанционного зондирования Земли, сопряженного с использованием данных натуральных наблюдений за состоянием природных и техногенных экосистем. Оценивается возможность формирования регионального рынка экологических услуг, сформированных на основе данных космической съемки и натуральных наблюдений.

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли, аэрокосмический контрольно-измерительный полигон, наземные натурные исследования, экологический мониторинг, экологические услуги

Дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) из космоса относится к одной из наиболее успешно и динамично развивающихся инновационных отраслей в крупнейших странах мира, включая Россию. Понимание важности этих проблем было подтверждено специальным документом, подготовленным руководством нашей страны, в котором охарактеризованы государственные интересы, приоритеты, принципы, цель, задачи и этапы реализации политики в области использования результатов космической деятельности в интересах модернизации экономики Российской Федерации и развития ее регионов. В перечне основных задач этого документа, в частности, значится позиция: «Обеспечение интеграции и комплексирования разнородной (космической и некосмической) информации при создании космических продуктов и оказании космических услуг» [1]. В этой связи, следует обратить особое внимание, во-первых, на то, что в данном документе впервые установлено понятие результатов космической деятельности как продуктов и услуг, создаваемых в процессе ее реализации, во-вторых – подчеркнуть значимость и широту областей прикладного и научного использования данных ДЗЗ в целях изучения климата, метеообеспечения, гидрометеорологии, топогеодезического обеспечения, решения широкого круга задач природопользования, сельского хозяйства, ведения целевых кадастров, мониторинга чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, экологического мониторинга, картографии, фундаментального изучения Земли и ее эволюции [1].

Развитие в последние годы концепции «экологических услуг» (ecological services) [2-6], в рамках которой рассматриваются пути оптимизации природопользования на локальном, региональном и глобальном уровне, настоятельно требует серьезного внимания к информационному обеспечению этой деятельности с обязательным использованием данных дистанционного зондирования (рис. 1). Эта концепция

получает мощный толчок к развитию при совместном использовании результатов ДЗЗ по конкретным территориям и данных наземного обследования, расположенных в их пределах природных и техногенных экосистем. Исследования показали, что многие характеристики состояния экосистем обнаруживают достаточно тесную связь с данными дистанционного зондирования, полученными путем измерения отраженных сигналов. В частности, это относится к определению первичной продуктивности экосистем путем оценки флуоресценции хлорофилла [2]. Разработка технологий и возможностей регуляции климата косвенно связаны с результатами дистанционного зондирования, например, оценкой со спутника температуры поверхности Земли. Наконец, целый ряд важнейших показателей (производство продовольствия, сырья, состояние природных компонентов экосистем) не может быть адекватно отражен при использовании только данных дистанционного зондирования и требует совместного использования данных ДЗЗ и иных источников информации, в том числе натуральных наблюдений [2, 7].

Следует отметить, что в последнее десятилетие отмечается резкое увеличение числа работ, связывающих данные ДЗЗ с оценкой состояния компонентов экосистем и обеспечением ими экологических услуг [8-12]. Систематический обзор, выполненный на основе информационного поиска в базах Scopus и Web of Knowledge [2] выявил за период 1960-2013 гг. наличие 5920 публикаций, прямо или косвенно тематически связанных с термином «ecological service», из них 211 имели прямую ссылку на использование данных ДЗЗ (remote sensing). Приуроченность этих работ к странам мира показывает абсолютное лидерство США и Китая при существенном отставании других развитых стран, в том числе и России. Разумеется, сам этот факт не означает полного отсутствия публикаций по проблеме практического использования ДЗЗ, их число достаточно велико в разных странах мира и в нашей стране. В качестве примера укажем лишь некоторые [13-16], на основании которых можно составить представление о широте круга специалистов и тематике исследований в рамках данной проблемы в России. Согласно результатам уже упомянутого систематического обзора, распределение работ по означенной проблематике показало наличие ряда наиболее «популярных» тем, среди которых в первую очередь производство продовольствия, а также мониторинг климатических изменений (рис. 2).

Кавеленова Людмила Михайловна, доктор биологических наук, профессор, заведующая кафедрой экологии, ботаники и охраны природы. E-mail: biotest@samsu.ru

Прохорова Наталья Владимировна, доктор биологических наук, профессор кафедры экологии, ботаники и охраны природы. E-mail: ecology@samsu.ru

Ращупкин Анатолий Владимирович, начальник отдела тематической обработки и распространения информации дистанционного зондирования Земли. E-mail: d1133@samspace.ru

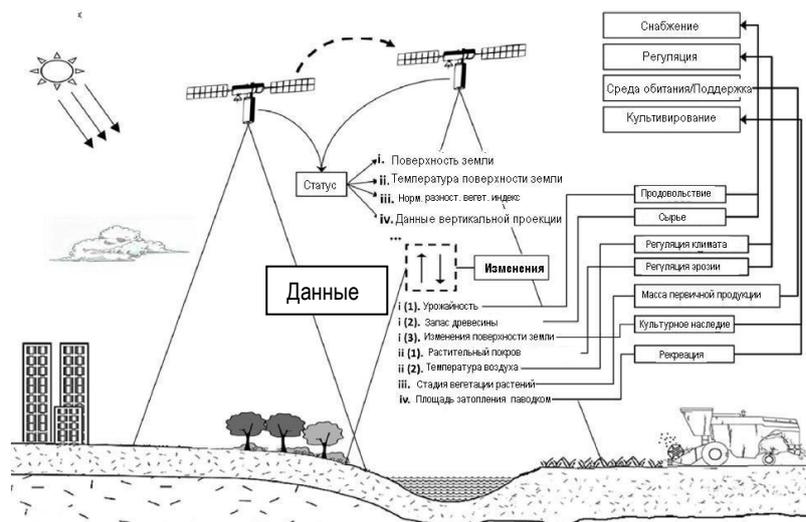


Рис. 1. Вовлечение данных ДЗЗ в сферу экосистемных услуг (по [2], с изменениями)

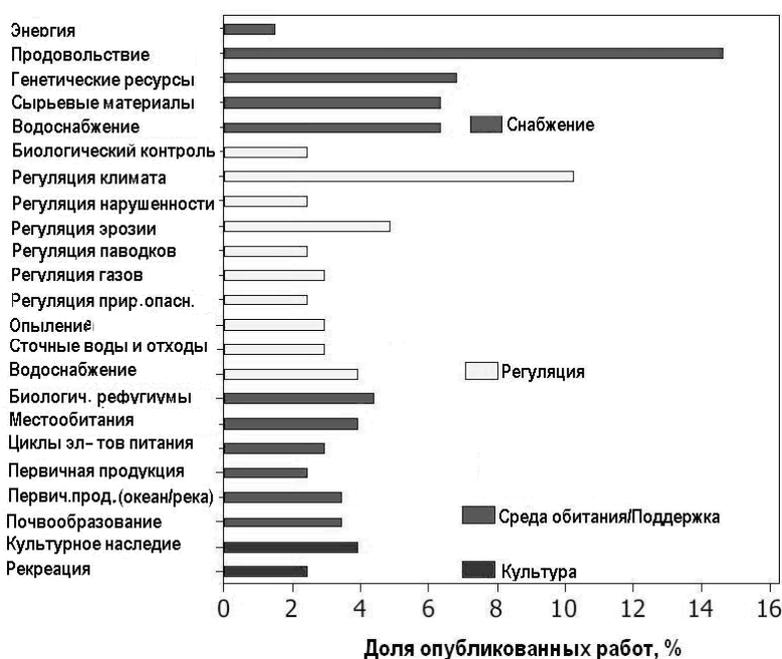


Рис. 2. Доля публикаций, связанных с различными экологическими услугами экосистем (по [2], с изменениями)

Оценка на основе данных ДЗЗ условий в наземных и водных экосистемах, в том числе связанная с деятельностью продуцентов, производится с применением расчетных коэффициентов. Эта практика используется для определения индексов, т. е. преобразование изображений, основанных на различиях яркости природных объектов в двух или нескольких частях спектра. Наибольшее количество индексов относится к дешифрированию зеленой, вегетирующей растительности, отделению ее изображения от других объектов, в первую очередь, от почвенного покрова и водной поверхности.

Вегетационные индексы основаны на отношениях значений яркости в спектральных зонах, наиболее информативных для характеристики растительности – красной и ближней инфракрасной. Наиболее часто используют нормализованный разностный вегета-

ционный индекс NDVI (Normalised Difference Vegetation Index), рассчитываемый по формуле $NDVI = \frac{BIK - K}{BIK + K}$, где K – значение яркости в красной зоне, а БИК – значение яркости в ближней инфракрасной. Значения индекса изменяются в пределах от -1 до +1. Для растительности характерны положительные значения NDVI, и чем больше ее фитомасса, тем они выше [13]. На значения индекса влияют видовой состав растительности, ее сомкнутость, состояние, в меньшей степени экспозиция и угол наклона поверхности. Кроме того, одни и те же виды растений при произрастании в разных частях ареала накапливают в листьях разное количество пигментов, у древесных растений изменяются высота, облиственность, форма и размеры кроны, что также будет изменять отражательные свойства растительного покрова и итоговое значение индекса.

Для того, чтобы многочисленные задачи оптимизации природопользования с привлечением ДЗЗ были решены адекватно и на современном уровне, необходимо продолжение и расширение работы в развитии программно-методического обеспечения для получения более точных и надежных оценок состояния окружающей среды, обязательным условием чего является, в том числе, геопривязка обрабатываемых изображений.

Помимо собственно результатов космосъемки, необходимо получение сопряженных наземных блоков информации в ходе эталонирования с использованием контрольно-измерительных полигонов. Аэрокосмический контрольно-измерительный полигон (КИП) - представительная по числу эталонов компактная территория, комплексное изучение которой выполняется с помощью аэрокосмических съемок и традиционных наземных методов исследований с целью последующей достоверной экстраполяции полученных методик идентификации объектов. Аэрокосмический полигон представляет собой территорию, репрезентативную по физико-географическим условиям для региона с типичным набором природных комплексов и их модификацией в результате как естественных, так и антропогенных воздействий различной степени. В пределах территории полигона выделяются тестовые (эталонные) участки, на которых проводятся стационарные полевые исследования наиболее типичных объектов и условий с последующей лабораторной обработкой [16].

Перечень основных задач исследований на КИП, кроме связанных с методическими и техническими основами ДЗЗ, включает сбор сведений о характеристиках объектов и явлений, определение их значимых дешифровочных и индикационных признаков, накопление статистических данных и формирование банка дешифровочных признаков, совершенствование методов обработки данных ДЗЗ. Здесь также осуществляются отработка опытных научных и производственных работ, обучение с целью распространения опыта. В целом же основные направления использования полигонов – это разработка эталонов топографического и тематического дешифрирования, создание каталога дешифровочных признаков, подспутниковые синхронные измерения [16].

В теории данные аспекты достаточно хорошо проработаны, но, как показал анализ доступных источников информации, относящихся к практике использования результатов ДЗЗ в экологическом мониторинге, работы по наземному сопровождению (эталонированию) в области базовых параметров состояния экосистем, определяемых в результате натуральных исследований, проводятся недостаточно широко, а их материалы мало используются при работе с материалами космосъемки. Это приводит к тому, что в практической работе по дешифрированию результатов ДЗЗ и дальнейшем применении ее результатов в практике сельского, лесного хозяйства, экологического мониторинга, анализа климатических изменений и других важнейших направлений, влияющих на качество жизни людей и состояние биосферы в целом, сказывается недоступность или полное отсутствие детальной классификации природных и техногенных объектов, признаков выявления начальных негативных изменений в их состоянии и пр. Особенно много проблем, связанных с отсутствием сопряженных исследований в области дистанционного зондирования Земли и натурального изучения соответствующих участков ее поверхности, проявляется на региональном уровне. Причины этого носят как объективный, так и субъективный характер

(отсутствие согласованных программ исследований, разработанных представителями технического и естественнонаучного направлений, сложность донесения важности и экономической эффективности проблемы до руководства регионов, невыделение соответствующего финансирования и др.).

Для формирования определенного прорыва в сложившейся ситуации был разработан проект создания методического обеспечения для комплексного анализа информации дистанционного зондирования Земли, получаемой с космических аппаратов, и результатов натуральных измерений с целью проведения экологического мониторинга территории для нужд регионального хозяйства, а также повышения национальной и глобальной конкурентоспособности инновационного аэрокосмического кластера Самарской области за счёт обеспечения мирового уровня развития отраслевых технологий и подготовки кадров. Разрабатываемое методическое обеспечение предназначено для использования при реализации следующих направлений: мониторинг природно-техногенных комплексов региона в режиме реального времени (например, выявление объектов накопленного экологического ущерба, определение влагонасыщенности почв; мониторинг состояния лесного фонда, мониторинг состояния водных объектов, анализ негативного влияния деятельности объектов промышленной инфраструктуры на среду обитания и др.); планирование мероприятий по развитию промышленных, аграрных, урбокомплексов с использованием современных технологий; развитие регионального рынка услуг и инновационных разработок, связанных с проведением комплексного экологического мониторинга.

В ходе реализации работ по проекту для территории Самарской области фактически впервые на специализированных контрольно-измерительных тестовых полигонах, выбранных на основе многолетнего изучения природных и техногенных экосистем в соответствии с особенностями региональных условий, осуществлены наземные обследования ведущих показателей почвенного и растительного покрова. Составлена операционная карта проведения натуральных исследований эталонных участков на контрольно-измерительных полигонах и камеральной обработки данных для последующего использования в работе с ДЗЗ, в частности для решения методических вопросов, связанных с интерпретацией данных ДЗЗ. В качестве тестовых полигонов в данном проекте были использованы достаточные по площади и хорошо изученные соответствующими специалистами биологами и экологами природные территории, достоверно различающиеся по своим характеристикам: Красносамарский лесной массив с более чем 40-летней историей изучения, Стрельная гора на Самарской Луке, Сорочинские горы как часть Сокольных гор в пределах от Коптева до Студеного оврага, Чубовская степь [17-21].

Основные параметры выбранных тестовых полигонов участниками проекта – преподавателями кафедры экологии, ботаники и охраны природы были тщательно выверены, унифицированы, переведены в количественную форму и переданы коллегам – специалистам по дешифровке ДЗЗ. Был осуществлен анализ особенностей использования региональных данных по состоянию компонентов природных экосистем для детализации распознавания их изображений на космоснимках. Путем системного анализа материалов космосъемки и данных наземных натуральных наблюдений, на основе корректировки методов и алгоритмов анализа космических снимков, проведены их тематическая

обработка и апробация разрабатываемого методического обеспечения. Внедрение разработанной методики позволит сократить стоимость и сроки реализации мероприятий по развитию природных и техногенных экосистем Самарской области, увеличить объемы оказания высокотехнологичных услуг предприятиям региона (в том числе для иностранных заказчиков), создать высокотехнологичные рабочие места при организации новых подразделений на предприятиях, использующих разработанные технологии, усилить межрегиональную и международную кооперацию предприятий аэрокосмического кластера, а также межведомственную кооперацию внутри региона, обеспечить рост экспортного потенциала предприятий региона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Основы государственной политики в области использования результатов космической деятельности в интересах модернизации экономики Российской Федерации и развития ее регионов на период до 2030 года. Утверждены Президентом РФ 14.01.2014. № Пр-51.
2. Barbosa, C.C. Remote sensing of ecosystem services: A systematic review / C.C. Barbosa, P.M. Atkinson, J.A. Dearing // *Ecological Indicators*. 2015. V.52. P. 430-443.
3. Costanza, R. The authorship structure of ecosystem services as a transdisciplinary field of scholarship / R. Costanza, I. Kubiszewski // *Ecosyst. Serv.* 2012. V.1. P. 16-25.
4. Groot, R.S. Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making / R.S. Groot, R. Alkemade, L. Braat et. al. // *Ecol. Complex.* 2010. V.7. P. 260-272.
5. Groot, R.S. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services / R.S. Groot, M.A. Wilson, R.M.J. Boumans // *Ecol. Econ.* 2002. V. 41. P. 393-408.
6. Boyd, J. What are Ecosystem Services? The need for standardized environmental accounting units/ J. Boyd, S. Banzhaf // *Ecol. Econ.* 2007. V. 63. P. 616-626.
7. Chambers, J.Q. Regional ecosystem structure and function: ecological insights from remote sensing of tropical forests / J.Q. Chambers, G.P. Asner, D.C. Morton et. al. // *Trends Ecol. Evol.* 2007. V. 22. P. 414-423.
8. Murray, N.J. Continental scale mapping of tidal flats across east Asia using the landsat archive / N.J. Murray, S.R. Phinn, R.S. Clemens et. al. // *Remote Sens.* 2012. V. 4. P. 3417-3426.
9. Atzberger, C. Mapping the spatial distribution of winter crops at sub-pixel level using AVHRR NDVI time series and neural nets / C. Atzberger, F. Rembold // *Remote Sens.* 2013. V.5. P. 1335-1354.
10. Atzberger, C. Air pollution modelling from remotely sensed data using regression techniques / C. Atzberger, F. Rembold // *Ind. Soc. Remote Sens.* 2013. V.41. P. 269-277.
11. Prabakaran, C. Retrieval of forest phonological parametrs from remote sensing-based NDVI time-series data / C. Prabakaran, C.P. Singh, S. Panigrahy et. al. // *Curr. Sci.* 2013. V.105. P. 795-802.
12. Nagendra, H. Remote-sensing for conservation monitoring: assessing protected areas, habitat condition, species diversity and threats / H. Nagendra, R.M. Lucas, J.P. Hondaro et. al. // *Ecol. Indic.* 2013. V.33. P. 45-59.
13. Лабутина, И.А. Использование данных дистанционного зондирования для мониторинга экосистем ООПТ. Методическое пособие / И.А. Лабутина, Е.А. Балдина // Всемирный фонд дикой природы. Проект ПРООН/ГЭФ/МКИ «Сохранение биоразнообразия в российской части Алтае-Саянского экорегиона». – М., 2011. 88 с.
14. Классификатор тематических задач оценки природных ресурсов и окружающей среды, решаемых с использованием материалов дистанционного зондирования Земли. Редакция 7. – Иркутск: ООО «Байкальский центр». 2008. 80 с.
15. Сухих, В.И. Применение сканерных космических снимков при инвентаризации резервных лесов / В.И. Сухих, В.М. Жирин // Дистанционные методы в лесоустройстве и учете лесов. Приборы и технологии. Матер. Всерос. совещания-семинара с междунар. участием. – Красноярск: Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН. 2005. С. 92-97.
16. Грузинов, В.С. Методика оценки «топографической информативности» данных дистанционного зондирования Земли на тестовых участках // *Геодезия и картография*. 2006. №6. С. 33-35.
17. Корчиков, Е.С. Флористическое разнообразие особо ценного Красносамарского лесного массива Самарской области: I. Сосудистые растения / Е.С. Корчиков, Н.В. Прохорова, Т.И. Плаксина и др. // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. Бюлл. 2010. Т. 19. № 1. С. 111-136.
18. Макарова, Ю.В. К флоре западной части Сокольных гор / Ю.В. Макарова, А.А. Головлёв, Н.В. Прохорова и др. // Вестник Самарского государственного университета. 2012. № 9 (100). С. 191-199.
19. Макарова, Ю.В. Материалы к флоре западной части Сокольных гор / Ю.В. Макарова, Н.В. Прохорова, А.А. Головлёв // Фиторазнообразии Восточной Европы. 2013. VII: I. С. 28-46.
20. Власова, Н.В. Начальный этап мониторинговых исследований растительности на экскурсионном маршруте горы Стрельной после его обустройства: первичные результаты и перспективы / Н.В. Власова, Е.С. Корчиков, Т.А. Корчикова и др. // Известия Самарского научного центра РАН. 2014. Т. 16, №1(3). С. 620-623.
21. Розно, С.А. Успехи и уроки реинтродукции редких растений в природные экосистемы: из опыта работы ботанического сада Самарского государственного университета/ С.А. Розно, И.В. Рузаева, А.В. Помогайбин и др. // Известия Самарского научного центра РАН. 2014. Т. 16. № 1-3. С. 804-806.

THE ANALYSIS OF ECOLOGICAL SERVICES MARKET PROBLEM ON THE BASIS OF DATA OF REMOTE SENSING AND NATURAL MEASUREMENTS

© 2016 L.M. Kavelenova¹, N.V. Prokhorova¹, A.V. Rashchupkin²

¹Samara National Research University named after acad. S.P. Korolyov

²JSC RKC "Progress", Samara

In article the analysis of modern state of a problem of economic use the opportunities of remote sensing of Earth integrated to use of data of natural supervision over a condition of natural and technogenic ecosystems is provided. The possibility of forming the regional market of ecological services, created on the basis of data of remote sensing and natural measurements is estimated.

Key words: remote sensing of Earth, space control and measuring ground, land natural researches, environmental monitoring, ecological services

Lyudmila Kavelenova, Doctor of Biology, Professor, Head of the Department of Ecology, Botany and Nature Protection. E-mail: biotest@samsu.ru; Natalia Prokhorova, Doctor of Biology, Professor at the Department of Ecology, Botany and Nature Protection. E-mail: ecology@samsu.ru; Anatoliy Rashchupkin, Head of the Department of Thematic Handling and Distribution of Information of Remote Sensing of Earth. E-mail: d1133@samspace.ru