

Спутниковый мониторинг экологического каркаса речного бассейна как метод оценки его состояния и возможности восстановления

И.Е. Курбатова

*Институт водных проблем РАН
119333, Москва, ул. Губкина, 3
E-mail: irenku@yandex.ru*

В работе рассмотрены основные задачи мониторинга экологического каркаса речного бассейна, показана актуальность использования материалов космической съемки для инвентаризации, оценки состояния и динамики элементов экологического каркаса бассейнов различного иерархического уровня, а также для выявления территорий, перспективных для мероприятий по усилению и реконструкции экологического каркаса. Специфика использования материалов космической съемки для изучения и картографирования экологического каркаса лесостепных территорий, подверженных интенсивной многолетней антропогенной нагрузке, рассмотрена на примере бассейна р. Сейм.

Ключевые слова: речной бассейн, экологический каркас, спутниковый мониторинг, природоохранные зоны.

Введение

За последнее столетие в результате интенсивного хозяйственного освоения территорий резко сократилась доля коренных естественных ландшафтов, и, как следствие, произошло масштабное сокращение площадей и биоразнообразия природных экосистем. Дальнейшее их уничтожение может привести к нарушению баланса глобального биологического круговорота вещества и энергии в наземной, водной и воздушной сферах. Во многих экологически неблагополучных районах природный ресурс саморегуляции и самовосстановления среды находится на грани истощения (Павлов и др., 2010).

Для предотвращения дальнейшей экологической деградации должна быть разработана комплексная программа мероприятий, включающая три основных последовательных этапа действий: выбор щадящего режима природопользования; выбор краткосрочных и долгосрочных мер по стабилизации условий существования окружающей среды (Стратегия..., 2006). Первоочередной задачей становится выявление оптимальных по времени и эффективных экономически мероприятий по стабилизации состояния окружающей среды, сохранению механизмов ее природной регуляции и средоформирующих функций.

Подходы и методы

В качестве естественной и наиболее оптимальной территориальной единицы для комплексного решения экологических задач все чаще выбирается речной бассейн. Геосистема бассейна иерархически сформирована, имеет четкие природные границы, высокую степень замкнутости (Корытный, 2001). Бассейн правомерно рассматривать как природно-хозяйственную систему, в которой взаимосвязаны и взаимообусловлены все виды использования природных

ресурсов, осуществляемых на его территории (Черняев и др., 1995). Концепция устойчивого развития речного бассейна предполагает достижение разумного компромисса между сохранением природы и максимизацией экономической прибыли от хозяйственного использования его ресурсов. В качестве инструмента, способного обеспечить достижение баланса между природопользованием и охраной природы, может быть использован интегрированный подход к экологической оптимизации ландшафта, базирующийся на выявлении экологического каркаса (ЭК) территории и его реставрации (Елизаров, 1998; Стоящева, 2007).

Применительно к речным водосборам ЭК – пространственно организованная структура сохранившихся природных территорий, водоемов, водотоков и объектов с различными режимами природопользования, выполняющих основные средообразующие и средозащитные функции. Структура ЭК речного водосбора любого иерархического уровня представляет собой пространственное распределение площадных (ядер и узлов) и линейных составляющих (коммуникативных коридоров) в границах водораздела, которые поддерживают экологическую стабильность территории, предотвращают потерю биоразнообразия и деградацию ландшафта, способствуют сохранению водных ресурсов и улучшению качества воды. Каждый элемент каркаса обладает определенными функциями (табл. 1). ЭК водосбора должен рассматриваться как единая цельная природная система,

Таблица 1. Основные элементы системы экологического каркаса речного бассейна, (по Елизарову, Стоящевой)

Элементы	Виды объектов	Основные функции
<i>Ядра</i>	Заповедники, заказники, национальные парки, леса, водно-болотные угодья, дельтовые области, крупные водоемы, системы озер и др.	Сохранение, поддержание ландшафтного биоразнообразия
<i>Коммуникативные (транспортные) коридоры</i>	Русла и долины рек, их водоохранные зоны, водораздельные леса, тальвеги, овражно-балочные, пойменные и террасные полосы зональной растительности, лесополосы различного назначения и др.	Поддержание целостности каркаса за счет связывания разрозненных ядер, обеспечение беспрепятственного перемещения подвижных компонентов среды.
<i>Буферные зоны</i>	Буферные зоны заповедников, заказников, водоохранные, санитарно-защитные зоны рек, водоемов, зоны охраны транспортных коридоров, зеленые зоны населенных пунктов (сады, парки и т.д.)	
	Выполнение средозащитной роли по отношению к ядрам, узлам и коридорам, уменьшает остроту антропогенного воздействия на них. Виды хозяйственной деятельности внутри зоны ограничены.	
<i>Сетевые узлы</i>	Пересечения рек, речных долин с лесополосами, колками леса, заболоченными понижениями и др.	Образование мини-ядер разной степени сохранности, перспективных для восстановления опорных узлов сети каркаса
<i>Очаговые формы</i>	Памятники природы, фрагментарные участки леса, небольшие озера и болота, луга, сенокосы, ложбины, балки и др.	Локальные очаги ненарушенной (слабонарушенной) природы, используемые при проектировании восстановления сети каркаса.

только в этом случае возможно эффективное восстановление экологической стабильности территории. В настоящее время не существует единой системы управления ЭК, мониторинга и контроля за его состоянием (Елизаров, 1998). В связи с этим одной из первостепенных задач является разработка комплексного мониторинга ЭК. В условиях дефицита данных наземных наблюдений важной составной частью его информационной базы являются дистанционные и картографические материалы.

Данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) для изучения состояния водосборных территорий являются ценным информационным ресурсом, позволяющим получить наиболее современное, точное географическое распределение различных типов наземных экосистем региона исследования. В настоящее время для обеспечения мониторинга в зависимости от характера и уровня поставленных задач (табл. 2) активно используются спутниковые системы различного диапазона длин волн, высокого и среднего пространственного разрешения (Толмачева, Шкляева, 2006; Гарбук, Гершензон, 1997; <http://www.sovzond.ru/satellites>, <http://www.scanex.ru/ru/data/index.html>).

Таблица 2. Соответствие уровней мониторинга ЭК величине бассейнов, параметрам ДЗ и масштабу картографирования

Бассейны рек			Уровень мониторинга	ИСЗ, оптико-электронная и радиолокационная аппаратура	Разрешение (размер пикселя в м)	Оптический масштаб картографирования
категория	Средняя длина главной реки, км	Площадь водосбора, тыс. км ²				
Малые	10-100	0.1-2	Локальный	EROS-B IKONOS Ресурс-ДК1 EROS-A IRS-P-6 LISS-4, MSS IRS-PAN	0.8 1.0 1-3 2-2.8 5 5 5.8	1:10000 – 1:50000
Средние	100-500	2-20	Региональный	Монитор-Э SPOT-2, SPOT-4 panchromatic	8, 20-40 10	1:100000 – 1:200000
Большие	500-1000	20-200	Межрегиональный	SPOT-2, SPOT-4 Monospectral IRS-P-6, LISS-3, MSS	20 23.5	1:200000 – 1:500000
Очень большие	1000-3000	200-2 000	Трансграничный	RADARSAT Landsat ETM+ Landsat TM	25-30 15-30 30	1:1000000 – 1:2000000
Крупнейшие	≥ 3000	>2 000	Глобальный	Ресурс/Метеор МСУ-Э MODIS Terra/Aqua	35-45 250	1:2000000- 1:10000000

Некоторые методические аспекты использования космической информации для изучения, оценки экологического состояния и картографирования речных бассейнов более подробно рассмотрены в работе (Курбатова, 2010).

Приоритетные задачи спутникового мониторинга экологического каркаса речного бассейна (рис.1) можно объединить в три группы разного уровня сложности.

Решение первой группы задач по выявлению структуры ЭК и инвентаризации его элементов осуществляется в несколько последовательных этапов:

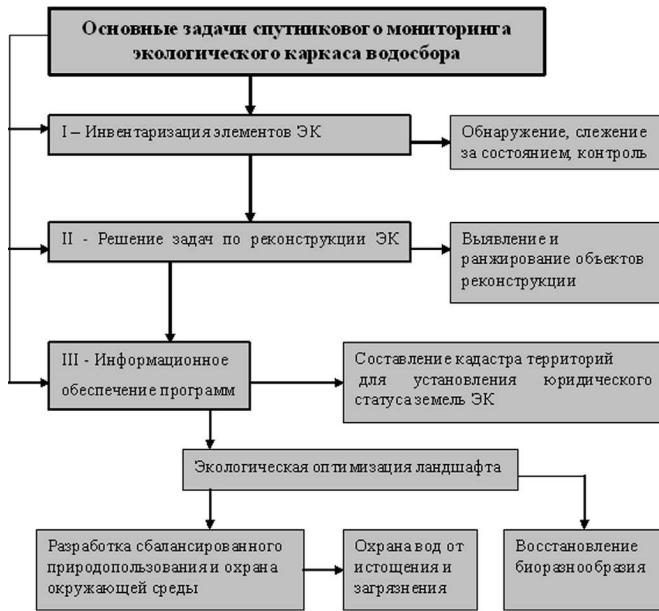


Рис.1. Структура и последовательность постановки основных задач спутникового мониторинга экологического каркаса

1 этап. Выявление территории с официальным охранным статусом - особо охраняемые (заповедники, заповедные участки, национальные парки); ограниченного пользования (заказники, памятники природы, водоохранные зоны); щадящего природопользования (земли лесного фонда, водно-болотные и кормовые угодья – пастбища, сенокосы и т.д.).

2 этап. Анализ содержания космических изображений и топографических карт для выявления элементов ЭК (распознавание, привязка, уточнение местоположения и границ элементов ЭК разных категорий значимости и сохранности, их инвентаризация); создание инвентаризационной картографической модели существующего ЭК.

3 этап. Разработка требований к разновременным космическим изображениям для выявления состояния и динамики элементов ЭК (архивным и современным для разных сезонов года); разработка картографической модели динамики и преобразования элементов ЭК под влиянием природных и антропогенных факторов.

Логическим продолжением исследований является формирование второго круга задач, направленных на реконструкцию ЭК для его восстановления и формирования целостной территориально взаимосвязанной системы природных объектов. В рамках проблемы формулируются более сложные задачи спутникового мониторинга – установление степени фрагментарности каркаса, выявление земель реставрационного фонда для их рекультивации и определение оптимальных мест для создания искусственных соединительных элементов.

Материалы космической съемки обеспечивают основной объем информации для решения этих задач. Предлагается следующая последовательность анализа изображений:

- Установление мест разрывов сети ЭК, оценка фрагментарности его элементов, как показателя неустойчивости системы;
- Выявление территорий, нуждающихся в экологической реставрации для воссоздания целостной инфраструктуры ЭК (выбор оптимальных вариантов воссоединения разрозненных изолированных элементов ЭК);

- Проведение классификации объектов по степени трудоемкости рекультивации (незначительная, умеренная, высокая);
- Разработка проекта реконструкции элементов экологической сети с учетом вариантов их соединения для конкретной ландшафтной зоны (расширение площадей природоохраных территорий, охранных зон, проведение работ по восстановлению лесов и насаждению новых, облесение и залужение прибрежных защитных полос, рекультивация бедлендов, заброшенных пашен, выбитых пастбищ и т.д.).

Результаты

В качестве объекта спутникового мониторинга выбрана верхняя часть бассейна реки Сейм (от её истока до города Курска). Территория находится в пределах лесостепной зоны и входит в состав Чернозёмного Центра. Площадь водосбора исследования равна 4840 км², что составляет около 18 % от общей площади всего бассейна (27500 км²). На территории водосбора размещены два самых больших участка Центрально-Черноземного заповедника – Стрелецкий (2046.0 га) и Казацкий (1638.0 га). По периметру участки окружает охранная (буферная) зона луговых степей. Леса области относятся к лесам 1 группы высшей категории защитности – они имеют большое водоохранное, водорегулирующее, противоэрозионное, почвозащитное, санитарно-гигиеническое и климаторегулирующее значение (Доклад о состоянии и охране окружающей среды на территории Курской области в 2010 году – http://www.ecolog46.ru/files/report_2010.pdf). Это позволяет отнести их к наиболее важным элементам ЭК. Основные лесообразующие породы – дуб, береза, ольха черная, сосна, осина. Они занимают более 90% земель, покрытых лесной растительностью. Прочие древесные породы (груша, яблоня) и кустарники (ива, лещина) – менее 1%. На остальной части водосбора природная среда испытывает значительное антропогенное воздействие. Антропогенная нагрузка проявляется в интенсивном сельскохозяйственном использовании земель и промышленной добыче фосфоритов, торфа, мела, глины и др. Активная вырубка леса, распашка задернованных склонов способствуют активизации эрозионных процессов, приводящих к загрязнению и обмелению рек, деградации малых водотоков, снижению биоразнообразия. Доля сохранившихся естественных ландшафтов сведена к минимуму (лесные массивы занимают не более 5-7 % площади, естественные степи практически все распаханы). Размещение животноводческих ферм и летних выпасов скота в водоохранной зоне приводит к биогенному загрязнению рек. Среда обитания многих зверей, птиц, насекомых нарушена, сокращается их численность и видовой состав (Природа ..., 1986).

В связи с напряженной экологической ситуацией в регионе изучение структуры сохранившихся элементов экологического каркаса водосбора Сейма и решение вопросов его реконструкции для восстановления природной среды является весьма актуальным. Для данного водосбора в состав элементов ЭК следует включать и природно-антропогенные территории (например, сады, лесополосы и т.д.).

Выявление наиболее значимых элементов ЭК, их начальная инвентаризация и ранжирование проводились по топографическим картам масштабов 1:200 000 – 1:500 000 (1980-1993 гг. издания) и научно-справочной литературе по проблемам и специфике региона. Основные элементы ЭК, выявленные для разных иерархических уровней водосбора р. Сейм, представлены в табл. 3.

Таблица 3. Распределение основных элементов экологического каркаса водосбора верхнего течения р. Сейм по степени значимости и уровням исследования

Уровень исследования	Ядра	Коммуникативные коридоры	Буферные зоны
Бассейн главной реки	Два участка Центрально-Чернозёмного заповедника, заказники, водно-болотные угодья, крупные дубравы, рощи ольшаника, зеленая зона г. Курска	Русла и поймы рек, леса водораздельные и пойменные, террасы, старицы, лесополосы большой протяженности вдоль транспортной сети	зона щадящего природопользования (3 км) вокруг участков ООПТ, водоохраные, санитарные защитные зоны (50-200 м),
Водосборы основных притоков	Озера, водохранилища, отдельные лесные массивы, дубравы, болота, урочища, западины, лесопосадки	Русла и поймы рек, долинные дубравы, леса байрачные, овражно-балочная сеть, пояса прибрежной растительности	Водоохраные водозащитные (50-100 м), санитарные зоны, зоны влияния лесов
Водосборы малых рек, ручьев (притоков 1-2 порядка)	Колки леса, пруды, залесенные вершины оврагов и балок, небольшие болота, участки степной растительности, сады, вымочки, западины	Русла малых рек и ручьев, тальвеги, лощины, балки, овраги, лесополосы, прибрежные болота	Водоохраные зоны истоков рек (радиус 50 м), заросли кустарников, опушки леса

Для выявления современного состояния элементов ЭК водосбора и получения произошедших изменений были использованы фрагменты космических изображений района исследования, приведенные в Google Earth. Сравнительный анализ космических материалов с топографическими картами показал их высокую информативность и большую, чем на картах, детальность изображения (рис. 2 а, б). Особенно эффективно их применение для распознавания границ и структуры заповедных территорий, сельскохозяйственных угодий, их состояния, выделения лесной и кустарниковой растительности овражно-балочной сети и выявления участков, перспективных для восстановления сети ЭК. Перечень визуальных проявлений негативных процессов по отдельным природным компонентам приведен в табл. 4.



Рис.2. Фрагмент топографической карты водосбора р. Сейм (а) и спутниковое изображение этого же участка территории (б). Синим выделены участки Центрально-Черноземного заповедника им. Алексина

Ниже приводятся некоторые рекомендации для выявления динамики основных природных и природно-антропогенных элементов экологического каркаса водосбора Сейма на основе визуальной интерпретации содержания космических изображений.

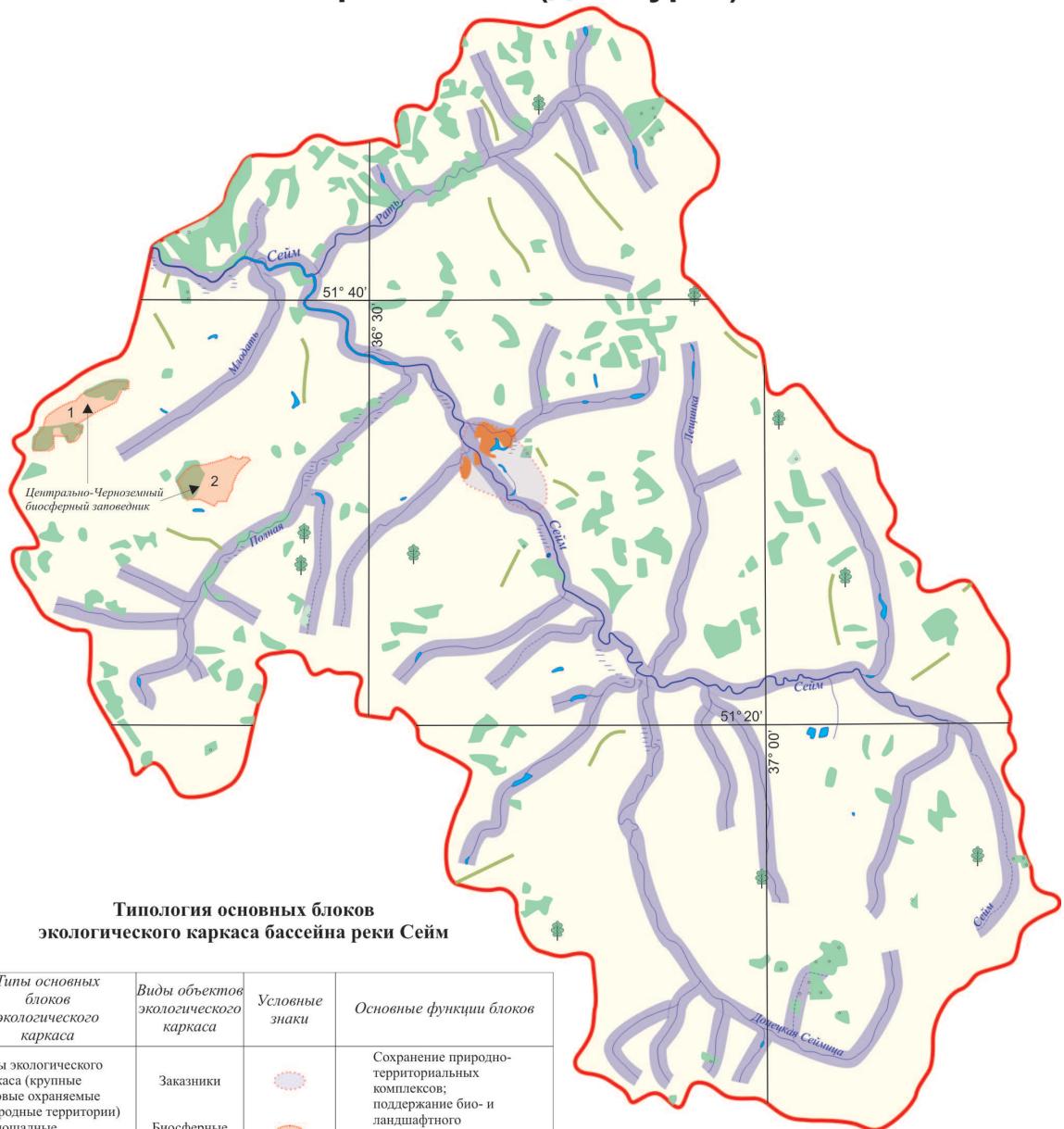
Таблица 4. Дистанционная инвентаризация состояния элементов экологического каркаса по основным природным компонентам

Природные компоненты	Наблюдаемые изменения	Объекты дешифрирования	Визуальные проявления негативных процессов
Гидрографические	Заилиение, осыхание, загрязнение, зарастание рек, прудов, озер, водохранилищ	Береговая линия и зеркало воды водоемов, водотоков, водоохранная зона	Уменьшение зеркала воды, зарастание водоема водной и прибрежно-водной растительностью, антропогенные объекты в водоохранной зоне
Геоботанические	Изменение, нарушение растительного покрова	Участки вырубленного леса, ветровалы, гари, распашка, области подтопления, очаги перевыпаса	Уничтожение, угнетение, изменение состава растительности в результате антропогенного вмешательства, пожаров, переувлажнения, заболачивания, осушения, вытаптывания и т.д.
почвенные	Изменение, загрязнение и нарушение почвенного покрова	Пашни, участки плоскостного смыва, ветровой эрозии, зоны влияния транспортной сети	Уменьшение плодородного слоя (образование очагов засоления, пятен разевания, вымочек и т.д.), зоны загрязнения вдоль дорог и промпредприятий.
Геоморфологические	Образование отрицательных форм рельефа	Линейная эрозия временных водотоков, образование промоин, рост оврагов	Увеличение овражно-балочной сети, формирование конусов выноса, появление карьеров

Леса. Космический мониторинг состояния лесных массивов – ядер ЭК позволяет выявить на основе анализа разновременных снимков сокращение площади наиболее ценных слабонарушенных старовозрастных лесов в результате рубок, и последующей смены коренных пород леса вторичными лиственными (Маслов, 2006). Кроме того, КС позволяют выявить гари и ветровалы (по материалам высокого разрешения). Оптимальный диапазон используемых изображений – средний ИК, разрешение 2-6 м (панхром) и 20-30 м (многозональный) в пикселе. Оптимальные сроки съемок – с апреля по октябрь (Толмачева, Шкляева, 2006).

Выявление сенокосов, пашен и заброшенных пашен. При разработке проекта реконструкции ЭК одной из актуальных задач является выявление земель реставрационного фонда для их рекультивации (бедлендов, заброшенных пашен, выбитых пастищ и пр.). Дифференциация сельскохозяйственных территорий по степени и характеру их использования является непростой задачей и требует проведения анализа разновременных космических изображений для достоверной идентификации. Чтобы отличить заброшенные пашни от паров, находящихся в стадии восстановления, необходимо привлечение архивных снимков за последние 5-7 лет, по которым разделяют изображения регулярно используемых пашен от заброшенных, зарастающих кустарником и быстрорастущей лиственной порослью. Оптимальные сроки съемки – апрель-май, поскольку на весенних снимках в диапазоне 0.6-0.7 мкм чистый почвенный покров не проросших еще яровых культур изображается темным тоном, площади озимых имеют структурированный полосчатый рисунок, а заброшенные пашни – светлый тон с невыраженной слабопятнистой структурой рисунка. Осенние снимки (август-сентябрь) в том же диапазоне позволяют отличить по светлому тону склоненные зерновые культуры (стерня, солома) и сенокосы.

Карта природно-экологического каркаса бассейна реки Сейм (до г.Курск)



Масштаб 1:500 000

Рис.3.Карта природно-экологического каркаса верхней части бассейна р. Сейм

В рамках реализации первого этапа мониторинга по выявлению структуры ЭК и инвентаризации его элементов по результатам совместного анализа всей исходной информации составлена карта природно-экологического каркаса бассейна р. Сейм в масштабе 1:500 000 (рис. 3), содержание которой характеризует типы основных блоков ЭК, их функции, виды основных элементов. На карте отображены основные ядра и транспортные коридоры данного бассейна (заповедники, заказники, леса, реки, озера, водохранилища, пруды, тальвеги, водно-болотные угодья, сады, поросль леса, небольшие дубравы, рощи ольшаника, защитные лесонасаждения).

Карта может служить базовой для обоснования работ второго этапа мониторинга и разработки мероприятий по улучшению экологической обстановки на рассматриваемом речном водосборе и, как следствие, восстановлению его стокорегулирующей способности и качества вод.

Выводы

Использование материалов космической съемки, представленных в Google Earth, на уровне предварительного визуального анализа изображений, позволяет на начальном этапе исследований получить ценную информацию о состоянии территорий, структуре землепользования, выявить элементы экологического каркаса и оценить их фрагментарность, наметить основные проблемные направления исследований. На следующем этапе можно переходить к автоматизированным обработкам разновременных космических изображений высокого разрешения для получения конкретных детальных характеристик объектов ЭК (фрагментов естественного ландшафта разной степени сохранности) и установления их динамики.

Литература

1. Гарбук С.В., Гершензон В.Е. Космические системы дистанционного зондирования Земли. М.: Изд. А и Б, 1997. 296 с.
2. Елизаров А. В. Экологический каркас – стратегия степного природопользования XXI века // Степной бюллетень. – 1998. Вып.2-4.
3. Корытный Л. М. Бассейновая концепция в природопользовании. Иркутск: Изд. Института географии СО РАН, 2001.161 с.
4. Курбатова И.Е. Использование данных космического мониторинга для оценки экологического состояния крупных речных водосборов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2010. Т. 7; № 2. С. 157-166.
5. Маслов А.А. Космический мониторинг лесов России: современное состояние, проблемы и перспективы // Лесной бюллетень, № 1 (31), февраль 2006. С. 8-13.
6. Павлов Д.С., Стриганова Б.Р., Букварева Е.Н. Экологоцентрическая концепция природопользования // Вестник РАН, 2010, т. 80, №2, с. 131-140.
7. Природа Курской области и её охрана. Выпуск первый и второй Под ред. Р.В. Кабановой. – Воронеж, Центрально-Черноземное книжное изд-во, 1985, 1986.
8. Стратегия сохранения степей России: позиция неправительственных организаций. // М., Издательство Центра охраны дикой природы. 2006. 36 с.
9. Стоящева Н.В. Экологический каркас территории и оптимизация природопользования на юге Западной Сибири (на примере Алтайского региона). Новосибирск: Изд. СО РАН, 2007. 140 с.
10. Толмачева Н.И., Шкляева Л.С. Космические методы экологического мониторинга / Пермь: Перм. ун-т, 2006. 296 с.
11. Черняев А.М., Дальков М.П., Шахов И.С., Прохорова Н.Б. Бассейн. Эколого-водохозяйственные проблемы, рациональное водопользование. РосНИВХ. Екатеринбург: Изд. «Виктор», 1995. 366 с.

Satellite monitoring the ecological framework of river basin as a method of assessing its condition and possibility of recovery

I.E. Kurbatova

*Water Problem Institute of Russian Academy of Sciences
Russia, 119333, Moscow, Gubkin str., 3. E-mail: irenkurb@yandex.ru*

The paper describes the main tasks of monitoring the environmental framework of river basin, the urgency of using satellite imagery for inventory, assessing condition and dynamic of the ecological framework elements for river basins of different hierarchical levels, as well as identifying areas for future activities on the ecological framework strengthening and reconstruction. By the example of the Seim river basin specifics is considered of utilizing satellite imagery for studying and mapping the ecological framework of forest-steppe territories subject to intensive long-term anthropogenic load.

Keywords: river basin, ecological framework, satellite monitoring, conservation areas.