

Использование данных космического мониторинга для оценки экологического состояния крупных речных водосборов

И.Е. Курбатова

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

Рассмотрены основные задачи космического мониторинга для изучения и оценки экологического состояния крупных речных водосборов как единой геосистемы. Реализован опыт использования дистанционной и картографической информации для оценки влияния бассейна р.Белой на формирование и загрязнение Краснодарского водохранилища. Составлена эколого-географическая карта водосбора р. Белой и ее дельты – аккумулятора загрязняющих веществ, приносимых твердым и речным стоком с территории водосбора

Ключевые слова: речной бассейн, мониторинг, водные объекты, космические снимки, динамика, антропогенные нагрузки, загрязнение, экологическое состояние, картографирование.

Введение

Одна из наиболее серьезных проблем человечества - постоянно ухудшающееся качество поверхностных вод суши. Основными причинами являются нерациональное использование водных ресурсов и высокий уровень антропогенных загрязнений, поступающих с поверхности водосборов от различных источников. Невозможно улучшать качество воды, не принимая во внимание состояние ее водосборной территории, на которой замыкается большая часть звеньев круговорота воды в природе, поэтому в основе разработки стратегии управления водными ресурсами и их сбережения должен лежать бассейновый подход.

Речной бассейн – сложное образование: с одной стороны, он представляет собой единую природную геозкосистему, а с другой – интегральную хозяйственно-экономическую структуру, формирование которой, как правило, не отвечает требованиям безопасного и сбалансированного водопользования. Экологическое состояние водных объектов непосредственно связано с масштабами хозяйственного преобразования природных ландшафтов (или их составляющих) водосборной территории. Однако в природоохранной и водохозяйственной деятельности редко учитывается важность анализа пространственного распространения источников загрязнения и их нагрузки на водные ресурсы. Между тем, выявление закономерностей распределения антропогенной нагрузки по площади водосбора и получение ее качественных и количественных оценок позволит выявить причины ухудшения водного режима и качества вод в гидрологической сети и разработать программу мероприятий по борьбе с их истощением [1]. Согласно классификации ГОСТа, бассейны крупных рек имеют площадь от 5000 км² и более. Они представляют собой сложные многоступенчатые иерархические природно-хозяйственные образования с разветвленной гидрографической сетью и многочисленными структурами водопотребителей и водопользователей. Расположены такие бассейны, как правило, в двух или нескольких ландшафтно-климатических зонах, что также влияет на характер антропогенного воздействия. Изучение взаимосвязей компонентов такой сложной геосистемы требует большого объема надежной и регулярно поступающей разносторонней информации. Следует отметить, что в целом для

страны характерна невысокая степень гидрологической и гидрохимической изученности территории. Недостаточная частота наблюдений (как временная, так и пространственная), оставляет нерешенными многие проблемы. Актуальной и перспективной задачей является развитие и научное обоснование системы наблюдений за средой формирования водных ресурсов с помощью геоэкологического мониторинга и ГИС-технологий.

Методы и подходы

Решение этой многокомпонентной задачи должно базироваться на результатах комплексного геоэкологического мониторинга, основные цели которого – обеспечение систем управления водным хозяйством и охраной водных объектов достоверной и современной информацией, позволяющей оценить состояние и функциональную целостность экосистем, выявить причины и последствия их изменений, определить корректирующие меры. Структура мониторинга речного бассейна не имеет и не должна иметь жестко установленного строения, так как она определяется особенностями географического положения каждого бассейна, типами его ландшафтов, морфометрическими характеристиками, интенсивностью и разнообразием хозяйственного использования. Главное внимание, на наш взгляд, должно быть сосредоточено на получении информации гидроэкологического характера, отражающей специфику водосбора и его гидрологического звена. Обеспечение таких исследований должно включать большой объем разнообразных сведений о физико-географических и социально-экономических особенностях территории водосбора, о гидрологическом, гидрохимическом и прочих режимах водотоков и водоемов, о водных экосистемах и специфике их развития, в том числе об экстремальных ситуациях. Интегральная оценка состояния водных объектов должна быть получена для различных уровней исследований: на бассейновом (система «водосбор-водоток-водоем-устье-береговая зона-море») и на локальном (система «водные массы -донные отложения – биота»). К сожалению, до настоящего времени такой комплексный подход не осуществлялся.

Основными задачами мониторинга является инвентаризация, контроль и слежение за различными составляющими системы «водосбор-водоток-водоем» для последующего анализа их экологического состояния, решения экономических, водно-экологических и природоохранных проблем. В круг наблюдений при мониторинге должны входить не только водные объекты, но и окружающая их водосборная территория с разделением на природные и антропогенные компоненты. Комплексность и эффективность мониторинга обеспечиваются постановкой тематических исследований, осуществляемых на основе многоцелевой программы, объединяющей подпрограммы изучения водосборов различного уровня и организации. Число таких подпрограмм определяется ландшафтным разнообразием, обусловленным зональными и аazonальными факторами, высотной поясностью бассейна, особенностями береговой зоны и акватории приемного водоема и характером их хозяйственного использования.

Основной экологический критерий мониторинга изучаемого бассейна – выявление гидроэкологических ситуаций (зон с различной степенью неблагополучия природных вод), концентрирующих оценку влияния совокупности взаимодействующих в системе «водосбор-водоток-водоем» природно-антропогенных факторов на качество поверхностных вод. Гидроэкологические ситуации водосбора отражают как гидрологическую, так и общую экологическую безопасность территории водосбора в целом.

Важной структурной составляющей комплексного мониторинга является космический мониторинг, поскольку космические изображения (КИ) относятся к одним из наиболее ценных носителей разноплановой информации, анализ которой способствует выявлению пространственно-временных взаимозависимостей компонентов системы «водосбор-водоток-водоем». Интеграция данных дистанционного зондирования с ГИС-технологиями является оперативной и динамичной составляющей информационного обеспечения комплексного управления природными ресурсами. Данные дистанционного зондирования (ДЗ) являются в условиях дефицита наземных наблюдений основными, а часто и единственными доступными источниками информации о состоянии водных объектов и их водосборах.

Обоснование выбора типов КИ, пространственного охвата и масштаба зависит от специфики геосистем бассейнов разного ранга, их строения, динамики, функционирования в зависимости от природных и антропогенных особенностей (таблица 1).

Таблица 1. Требования к космической информации

<i>Объекты наблюдения мониторинга</i>	<i>Площадь км²</i>	<i>Масштабный уровень задач</i>	<i>Параметры съемки</i>		<i>Оптимальный масштаб картографирования</i>
			<i>Спектральные диапазоны (мкм)</i>	<i>Периодичность съемки</i>	
Бассейны малые средние большие	До 2000 2000-5000 ≥ 5000	Локальный Региональный Межрегиональный	0.4-0.7 0.7-1.3 8-12	1 раз в сезон	≥1:200 000 1:500 000 1:1 000 000
Приемные водоемы средние большие очень большие	10-100 100-1000 ≥ 1000	Локальный Региональный Межрегиональный	0.4-0.5 0.5-0.6 0.7-1.3 8-12	1 раз в месяц в теплое время года	1:50 000 1:100 000 1:200000 1:1000000
Водохранилища средние крупные очень крупные крупнейшие	20-100 100-500 500-5000 ≥ 5000	Локальный Региональный Межрегиональный глобальный	0.4-0.5 0.5-0.6 0.7-1.3 8-12	1 раз в месяц в теплое время года, в период сработки и наполнения	1:50 000 1:100 000 1:200 000 1:1000 000

Использование материалов космической съемки для обеспечения задач мониторинга наиболее эффективно при исследованиях основных составляющих компонентов системы:

Водосборы

Природная составляющая

- определение физико-географических особенностей, морфологических и морфометрических характеристик (площадь и конфигурация водосбора, залесенность, заболоченность, заозеренность, закарстованность и пр.); выявление эрозионных процессов; определение температуры подстилающей поверхности для оценки испарения; оценка влажности почв и т.д.;
- инвентаризация и оценка состояния гидрографической сети (строение, густота, канализованность, зарегулированность и т.д.);
- определение состояния, динамики и трансформации растительного покрова (леса, редколесья, угнетенные низкорослые леса, вырубки, горелый лес, очаги заболевания лесов и т.д.);

- слежение за динамикой таяния снегов для прогноза половодья, оценка запасов влаги;
- контроль за развитием опасных природных процессов (эрозионных, оползневых и т.д.);

Антропогенная составляющая

- инвентаризация земельных угодий, определение площадей, занятых населенными пунктами, дорогами, карьерами, пашнями, сенокосами, пастбищами, орошаемыми землями;
- выявление очагов промышленного загрязнения и ареалов его распространения (по снежному покрову, состоянию растительности); оценка нарушенности лесного покрова и т.д.;
- контроль за развитием негативных антропогенно обусловленных процессов (загрязнение, истощение, подтопление, заболачивание, засоление, опустынивание земель и т.д.), экстремальных техногенных чрезвычайных ситуаций;

Водотоки

- инвентаризация и уточнение современного состояния гидрографической сети, определение положения береговых линий (постоянных, непостоянных, неопределенных, изменение положений при сложном режиме колебания уровня);
- выявление динамики русловых процессов, устойчивости русел к антропогенным воздействиям, зарастание, заиление, пересыхание, деградация и т.д.;
- контроль и слежение за развитием негативных природных процессов: сезонными разливами, дождевыми паводками, заторами и зажорами, обрушениями берегов и т.д.;
- выявление последствий антропогенного воздействия на реки в результате их зарегулирования (размывы и аккумуляция берегов, осушение пойм в нижних бьефах, заболачивание и подтопление в верхних бьефах водохранилищ и т.д.);

Дельты

- выявление гидрологических и геоморфологических процессов формирования дельт;
- наблюдение за динамикой дельтообразования и водного режима дельт, их зарастания, выдвижения или размыва; трансформацией в результате изменения уровня приемного водоема;
- определение зон затопления дельты при катастрофических наводнениях (половодьях, паводках, штормовых нагонах);
- выявление экологических проблем, связанных с антропогенным воздействием на дельту;

Приемные водоемы (крупные озера, водохранилища, моря)

- контроль и слежение за изменением положения береговых линий при колебаниях уровня водоема (сезонных, многолетних, эпизодических, в период сработки);
- определение размеров и конфигураций областей смешения речных и морских вод как распресненных участков морских акваторий с повышенной мутностью, загрязненностью;

- изучение многолетней и сезонной циркуляции прибрежных вод как фактора переноса загрязняющих веществ;
- установление границ зон затопления береговой полосы приемного водоема катастрофическими штормовыми нагонами, способствующими интенсивному перемещению водных масс и переносу загрязняющих веществ с моря на сушу и обратно.

Результаты и обсуждения

Картографо-аэрокосмический раздел комплексной программы мониторинга геосистемы «водосбор-водоток-водоем» на базе совместного использования дистанционных, картографических и гидрологических данных разрабатывался на примере р. Белой, ее водосборного бассейна и Краснодарского водохранилища – как принимающего водоема. В последнее десятилетие серьезную озабоченность вызывает напряженность экологической обстановки в районе Краснодарского водохранилища – крупнейшего руслового водохранилища бассейна р. Кубань. Его площадь составляет 397.8 км^2 , полный объем водохранилища равен 2349.3 млн. м^3 . Водохранилище признано наиболее загрязненным водоемом в крае, кроме того, в последние годы оно практически разделилось на две части стремительно растущей дельтой р. Белой (рис.1). Результаты изучения динамики береговых границ Краснодарского водохранилища за весь период его существования на основе использования разновременных космических и картографических материалов подробно изложены в работе [3]. Целью данного исследования является оценка экологического состояния бассейна р. Белой и изучение его влияния на формирование и загрязнение Краснодарского водохранилища. Целесообразность использования дистанционных и картографических материалов для изучения данного региона обусловлена дефицитом современных сетевых натурных наблюдений за гидрологическим и гидрохимическим состоянием вод р.Белой, возможностью единовременного непрерывного информационного охвата обширной территории водосбора.

На архивных космических снимках середины 80-х годов (через десять лет после окончания строительства водохранилища) хорошо видно, что нижние участки его боковых притоков – рек Пшиш, Марта, Апчас, Псекупс были подтоплены и образованы заливы типа эстуариев. Исключение составляло устье р. Белой, в котором уже начала формироваться выдвижная дельта. На космическом снимке, полученном спустя 22 года с Landsat в августе 2004 г. (рис.2) хорошо видно, что водохранилище уже разделено на две части перемычкой шириной более 5 км, а площадь дельты за это время достигла почти 20 км^2 . Причины такого интенсивного дельтоформирования обусловлены природными особенностями водосбора, расположенного в зоне легко размываемых пород, и содержанием большого количества твердых взвесей в речном стоке. Площадь бассейна р. Белой (второго по величине притока р. Кубань), составляет 5970 км^2 , что почти в 15 раз превышает площадь Краснодарского водохранилища. По данным гидрологических наблюдений, годовой объем стока воды составляет 1.58 км^3 , а годовой сток наносов 760 тыс. тонн, что соответствует в среднем поступлению $24\text{--}29 \text{ кг/с}$ [2]. При впадении в водохранилище скорость течения реки снижается почти до нуля и значительная часть твердого стока выпадает на дно водохранилища, постепенно заиливая его.

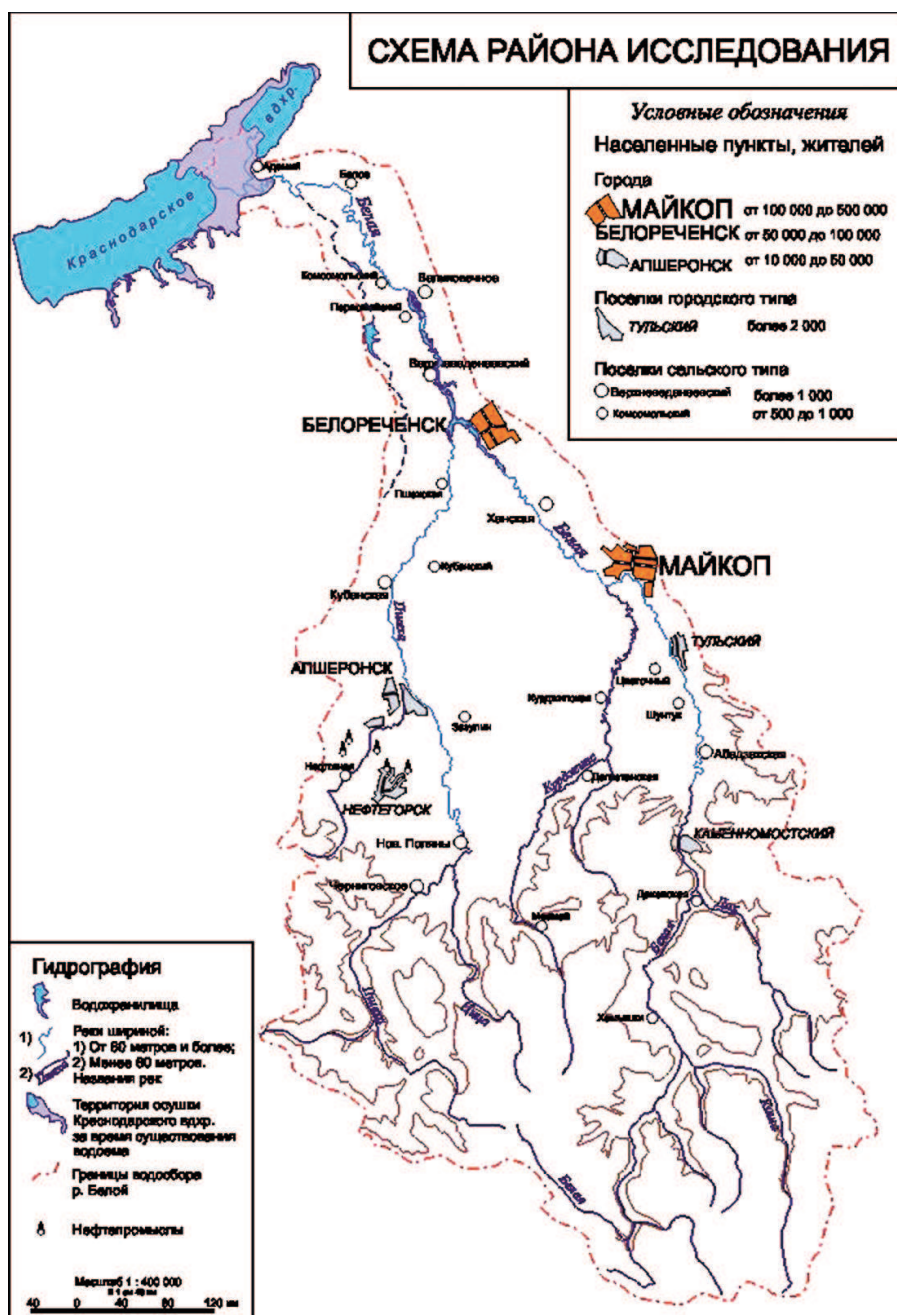


Рис. 1. Схема бассейна р. Белой

Материалы дистанционного зондирования при решении поставленной задачи были использованы для уточнения географо-гидрологического районирования территории; выявления современного состояния природно-территориальных комплексов водосбора, анализа антропогенной нагрузки на водосбор и ее распределения по территории. На схемах дешифрирования выделены – долины рек, границы лесов, вырубки, крупные населенные пункты, транспортная сеть, сельскохозяйственные угодья и т.д. Полученная информация дополнялась картографической и научно-справочной. Комплексная оценка роли водосбора р. Белой в загрязнении Краснодарского водохранилища в условиях отсутствия наземных гидрологических наблюдений в районе перемычки проводилась на основе использования географических и социально-экономических показателей.

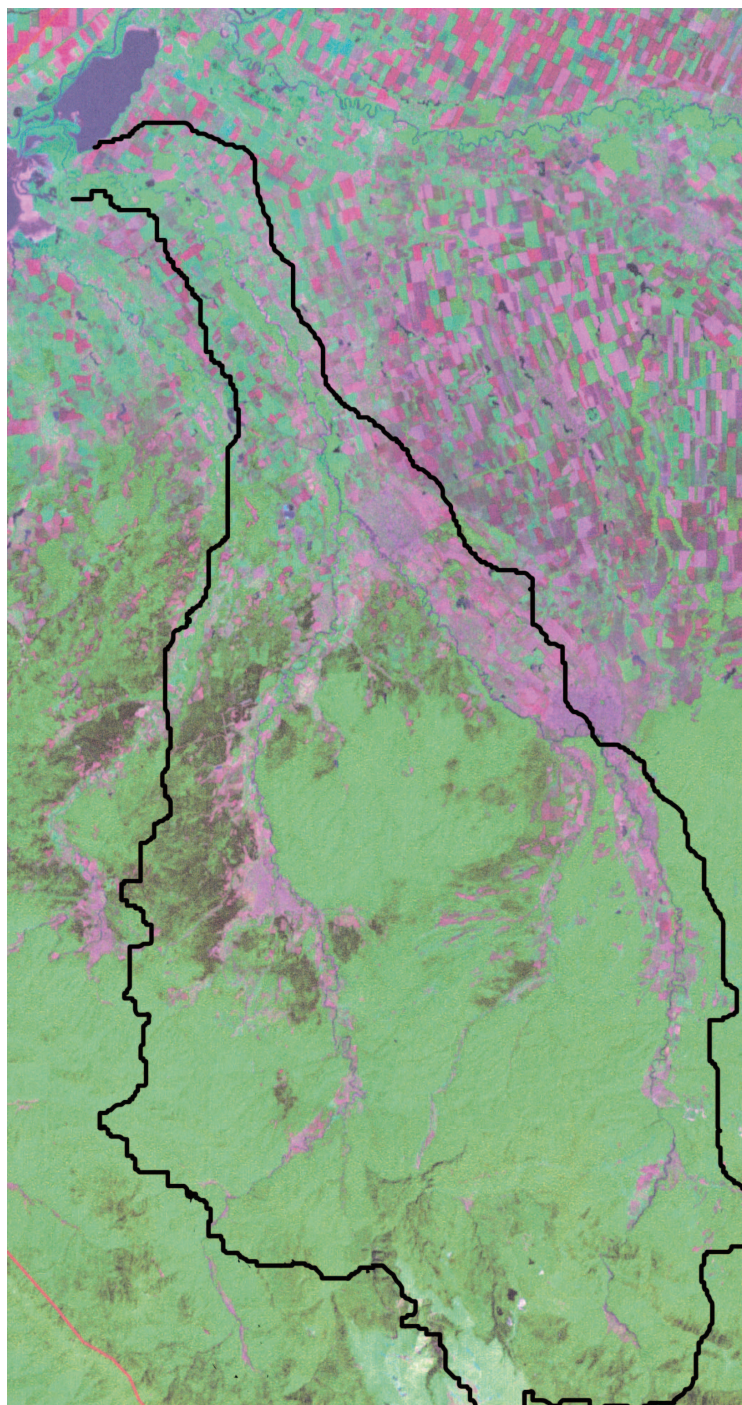


Рис. 2. Космическое изображение бассейна р. Белой (ИСЗ "Landsat", июнь 2004 г.)

Известно, что основная часть загрязняющих веществ (ЗВ) с водосбора поступает в реку и затем транспортируется частицами твердого стока в приемный водоем. Для выявления состава основных ЗВ, приносимых с наносами р. Белой и накапливающихся в акватории водохранилища, был проведен анализ хозяйственного использования водосбора реки, выявлены основные очаги антропогенного загрязнения. К ним относятся города и поселки городского типа, в которых сконцентрирована практически вся промышленность территории, локальные центры производственной специализации, сельскохозяйственные и животноводческие комплексы. В таблице 2 показаны основные источники загрязнения бассейна и сопутствующие им ЗВ. Поскольку населенные пункты всех типов исторически привязаны к водным артериям, промышленность также нуждается в боль-

ших объемах воды, а значительная часть полигонов твердых бытовых отходов, сельскохозяйственных объектов и животноводческих комплексов приурочена к дельтово-пойменным районам, то становится очевидным, что большая часть из перечисленных в таблице 2 поллютантов «сплавляется» по реке и ее притокам и в конечном счете накапливается в образовавшейся дельте и донных отложениях водохранилища. На космическом изображении (рис.3) хорошо видны области распространения мутьевых выносов р. Белой и Кубани (верхний водоток), которая, проложив себе путь через образовавшуюся перемычку, тоже начала формировать собственную вторичную дельту.

Таблица 2. Основные источники загрязнений водосбора р. Белая

<i>Основные источники загрязнения</i>	<i>Основные загрязняющие вещества</i>
промышленность	
Электро- и теплоэнергетика	сточные воды, золошлаки, отходы химводоочистки, шлам
Химическая и нефтехимическая	сточные воды, фосфогипс кислый, резиновые отходы (покрышки, камеры, выпрессовка резинотехнических изделий, отходы латекса), лигнин, отработанные катализаторы
Машиностроение и металлообработка, приборостроение	отходы черного и цветного металлов, сточные воды, гальваношламы
Лесная, деревообрабатывающая, мебельная	отходы деревообработки (опилки, стружки), в том числе формальдегидосодержащие, сточные воды
Промышленность строительных материалов	цементная пыль, сточные воды, выбраковка строительных материалов (железобетон, кирпич)
Легкая	сточные воды, макулатура, текстиль, отработанные катализаторы и реагенты
Пищевая	сточные воды, дефекат сахарной промышленности, отходы тары и упаковки
Мукомольно-крупяная и комбикормовая	сточные воды, продукция с истекшим сроком годности
Медицинская	упаковочные материалы, отработанные реагенты, специфические отходы ЛПУ
Полиграфическая	бумажные отходы (макулатура), сточные воды
Коммунальное хозяйство	
Хозяйственно-бытовые сточные воды	взвешенные органические и неорганические вещества, азот аммонийный, БПК ₅ , СПАВ
Сельское хозяйство	
Животноводство	органические вещества с высокой бактериальной загрязненностью
Земледелие	гербициды, минеральные удобрения, хлорорганические и фосфорорганические пестициды

Если процесс заиливания водохранилища будет происходить такими же темпами, то через 15-20 лет большая его часть будет осушена полностью. Уже сейчас прирусловые валы реки Кубань и их совместной дельты с рекой Белой закреплены ивово-тополевыми представителями древесных сообществ. Обсохшие участки дна водохранилища покрыты ивняками и камышовой растительностью.

Интенсивность происходящих изменений требует в дальнейшем организации регулярных наблюдений с помощью спектрозональных космических снимков (не реже 1 раза в 3 месяца для периодов максимальных, минимальных и средних расходов речной воды и твердого стока, периодов наибольшего наполнения и сработки водохранилища) и получение гидрохимических характеристик в эти же периоды для своевременной оценки остроты гидроэкологической ситуации.

Составленная карта может быть использована для дальнейших более детальных экологических исследований данного региона, выявления областей максимального и минимального хозяйственного загрязнения поверхностных вод и качественной оценки (по составу) загрязняющих веществ, накапливающихся в дельте Белой и соответственно, Краснодарском водохранилище.

Литература

1. Антропогенные воздействия на водные ресурсы России и сопредельных государств в конце XX столетия. Отв. ред. Н.И. Коронкевич, И.С. Зайцева. // М.: Наука, 2003. 367 с.
2. Лурье П. М, Панов В.Д., Ткаченко Ю.Ю. Река Кубань: гидрография и режим стока. Санкт-Петербург, Гидрометеиздат. 2005. 498 с.
3. Курбатова И.Е. Космический мониторинг береговой зоны Краснодарского водохранилища // Сб. научн. статей «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов». Вып.5. Том II. // М.:ООО «Азбука-2000», 2008. С. 523-528.

Utilization of space monitoring data for assessing ecology condition of large river catchments

I.E. Kurbatova

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

The main problems of space monitoring have been considered to study and to assess ecological condition of large river catchments as united ecosystem. The experience of remote sensing and cartography information utilization has been realized for assessing the Belaya River basin effect on the Krasnodar Reservoir formation and pollution. The ecology-cartography map of the Belaya River basin and its delta has been charted. On the map the latter has been shown to be accumulator of contaminants yielded by solid river runoff from the watershed area.

Keywords: river basin, monitoring, water bodies, space images, anthropogenic loads, pollution, ecology condition, mapping.