

УДК 504.05:519.6

Геоинформационное обеспечение задач экологического мониторинга особо охраняемых территорий

**Марина Г. Ерунова^а, Анна А. Гостева^а,
Олег Э. Якубайлик^{б*}**

*^аСибирский федеральный университет
660041 Россия, Красноярск, пр. Свободный, 79*

*^бИнститут вычислительного моделирования СО РАН
660036 Россия, Красноярск, Академгородок, 50, стр. 44*

Received 22.10.2008, received in revised form 30.10.2008, accepted 29.12.2008

Рассматриваются методы и результаты оценки и мониторинга экологического состояния природных ресурсов особо охраняемых территорий государственного природного заповедника «Столбы» и государственного природного биосферного заповедника «Центральносибирский». Рассмотрено создание цифровых моделей, проведен пространственный анализ физико-географических характеристик заповедных территорий. Выполнена оценка экологического состояния территорий заповедников – состояние атмосферы, уровень загрязнения почв, лесной подстилки, растительности и зимних осадков, влияние города (промышленного комплекса). Проведен сравнительный анализ результатов исследования территорий заповедников. Обсуждаются вопросы формирования информационного обеспечения задач экологического мониторинга особо охраняемых территорий.

Ключевые слова: геоинформатика, экологический мониторинг, ГИС-модель заповедника, оценка экологического состояния, тяжелые металлы.

Роль заповедников в изучении эталонов природных комплексов и объектов в их естественном развитии уже не оспаривается. Эту роль следует считать как особо важную в проблеме сохранения биоразнообразия на Земле. Если учитывать возрастающее воздействие человека на окружающую среду в региональном и глобальном масштабах, то получение научной информации об изменениях в экосистемах заповедных территорий позволяет объективно оценивать результаты этого воздействия, вырабатывать рекомендации по его корректировке.

Одной из ключевых задач, возложенных на государственные природные заповедники, является осуществление экологического мониторинга в рамках общегосударственной системы мониторинга окружающей природной среды. Мониторингом окружающей среды называют регулярные, выполняемые по заданной программе наблюдения природной среды, природных ресурсов, растительного и животного мира, позволяющие выделять их состояние и происходящие процессы под влиянием антропогенной нагрузки. Под экологическим мониторингом следует понимать организованный мониторинг окружающей природной среды, при котором,

* Corresponding author E-mail address: oleg@icm.krasn.ru

¹ © Siberian Federal University. All rights reserved

во-первых, обеспечивается постоянная оценка экологических условий среды обитания человека и биологических объектов (растений, животных, микроорганизмов и т.д.), а также оценка состояния и функциональной ценности экосистем, во-вторых, создаются условия для определения корректирующих воздействий в тех случаях, когда целевые показатели экологических условий не достигаются [1].

Географические информационные системы (ГИС) – это технология сбора, хранения, преобразования, отображения и распространения пространственно-координированных данных, удобный инструмент для компьютерного моделирования и геоинформационного картографирования, позволяющий моделировать процессы экологического мониторинга особо охраняемых территорий.

Цель данного исследования – разработка единой методологии экологического мониторинга состояния природных ресурсов особо охраняемых территорий с применением ГИС-технологий. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- разработка методики создания цифровой модели заповедной территории, основанной на использовании семейства программных средств ГИС;
- проведение пространственного анализа физико-географических характеристик территории заповедника. Получение качественных и количественных оценок состояния его природных и биологических ресурсов;
- оценка экологического состояния территории заповедника по таким параметрам, как состояние атмосферы, уровень загрязнения почв, лесной подстилки, растительности и зимних осадков, влияние города (промышленного комплекса);
- сравнительный анализ результатов исследования территорий заповедника «Столбы» и «Центральносибирский», обобщение методик, созданных в ходе исследования двух заповедных территорий в одну общую «универсальную» методологию современного подхода к мониторингу состояния природных ресурсов особо охраняемых территорий, и интеграция их в единый информационный ресурс.

Объект исследования

Государственный природный заповедник «Столбы» находится в черте крупного промышленного города и занимает площадь 472 км². Территория расположена вблизи пригородов г. Красноярска, в непосредственной близости правого берега Енисея, между его притоками – Базаихой, Маной и Большой Слизневой. Абсолютные отметки высот этого междуречья колеблются в пределах 200-800 м. Низкогорная часть (от 200 до 500 м) занимает 28,1 % площади территории. Оставшаяся часть – это среднегорная (500 – 800 м), где в основном выходят на поверхность сиенитовые скалы, известные во всем мире.

В исследованиях заповедника «Столбы» в настоящее время основное внимание уделяется мониторингу техногенного загрязнения и рекреационной нагрузки. Наблюдения за состоянием природной среды в заповеднике начались около 75 лет назад, когда антропогенный пресс на природную среду был не столь силен, а воздействие человека ограничивалось потребительской рекреацией. Научные исследования, начатые практически одновременно с образованием заповедника (1925 г.), дают материалы, которые позволяют сейчас и в будущем следить за динамикой процессов в природной среде [2].

Государственный природный биосферный заповедник «Центральносибирский» основан в 1985 г. и расположен в Эвенкийском и Туруханском районе Красноярского края в отдалении от крупных промышленных центров и потому мало подвержен антропогенному загрязнению. Территория заповедника «Центральносибирский» в 20 раз превышает территорию заповедника «Столбы» и составляет более 970 тыс. га. Границы заповедника идут по водоразделам, полностью захватывая бассейны нескольких притоков Енисея и Подкаменной Тунгуски. Это единственный заповедник в России, где на большом расстоянии (60 км) заповедны оба берега одной из великих рек Евразии [3]. Центральносибирский заповедник можно рассматривать как эталон природной экосистемы и использовать для изучения антропогенного влияния на территорию при проведении научных исследований.

Комплексная цифровая модель заповедной территории

В 1999-2006 годах разработана и внедрена ГИС-модель заповедника «Столбы», позволяющая аккумулировать в себе многолетние данные экологического мониторинга и проводить геоинформационный анализ по выявлению различных взаимосвязей и закономерностей [4, 5]. ГИС-модель заповедника «Столбы» позволила провести анализ физико-географических характеристик заповедника и получить оценку экологического состояния заповедника по распределению поллютантов. ГИС-модель заповедника «Столбы» (рис. 1) включает топографическую

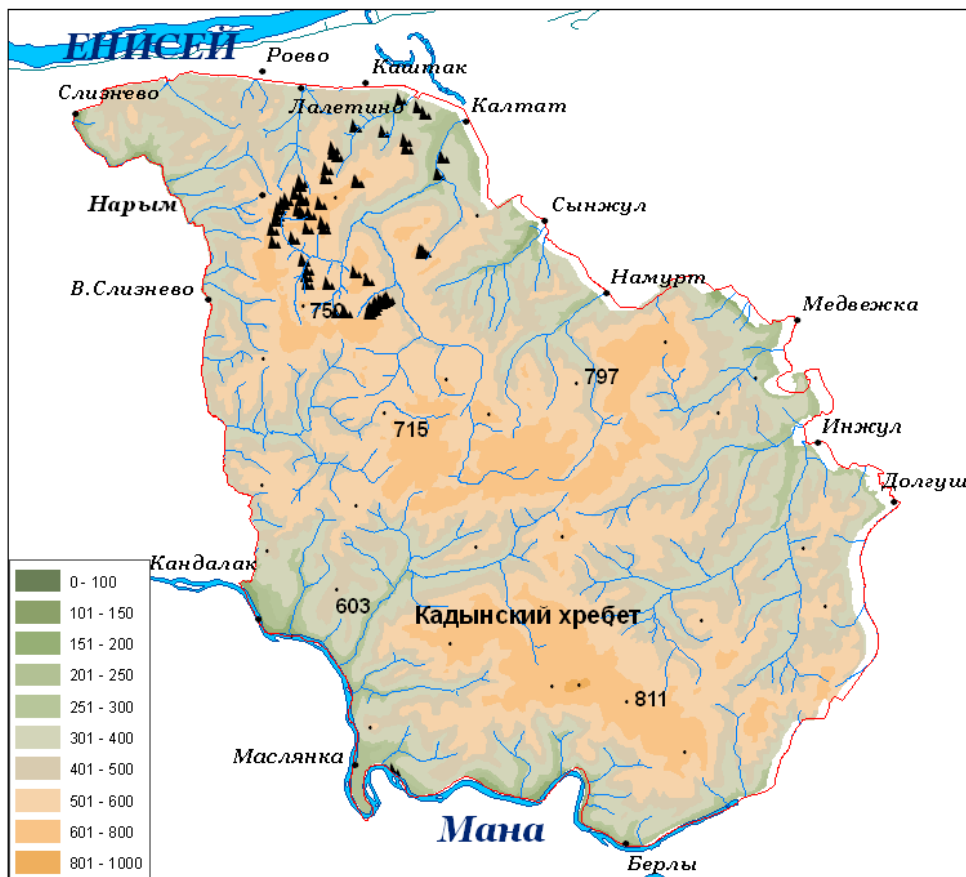


Рис. 1. Топографическая основа ГИС-модели заповедника «Столбы»

основу М 1:25000 (векторные слои гидрографической сети, дорожной сети, рельеф, скалы, избы и т.д.), планы лесоустройства М 1:25000 (векторные слои границ лесничеств, квартальную сеть и выделы с таксационным описанием), почвенный покров М 1:50000 и векторные слои распределения поллютантов (F, S, Cl, Pb, Sr, Al, Cd, Fe, Cu, Zn, Cr, Mn, Ni, Co, K, Na, Ca, Mg) в почве, лесной подстилке, хвое и зимних осадках.

Для создания единой методологии экологического мониторинга состояния природных ресурсов особо охраняемых территорий с применением ГИС-технологий в настоящее время ведется работа по созданию и внедрению ГИС-модели заповедника «Центральносибирский». ГИС-модель заповедника «Центральносибирский» на сегодняшний момент содержит топографическую основу М 1:200000 (векторные слои гидрографической сети, дорожной сети, рельеф, почву и т.д.), планы лесоустройства М 1:50000 (векторные слои границ лесничеств, квартальную сеть, гидрографическую сеть и выделы с таксационным описанием).

Для выявления пространственных закономерностей географических объектов, процессов или явлений в зависимости от особенностей территорий заповедников использовался ряд методов пространственного анализа: определение местоположения объектов; определение объектов на основе их атрибутов; измерение расстояний и площадей; тематическое картографирование; построение буферных зон; создание трехмерной модели рельефа (вычисление уклонов и экспозиции склонов); интерполирование поверхностей распределений поллютантов; проведение оверлея для различных характеристик территорий. Пространственный анализ проводился в геоинформационной системе ESRI ArcGIS.

Для территории заповедника «Столбы» на основе пространственного анализа исследованы физико-географическая основа заповедника, гидрографическая сеть, данные растительного и почвенного покрова. Рассмотрены такие задачи, как анализ зависимости распределения растительного покрова от высоты, анализ распределения почвенного покрова от высоты и анализ зависимости распределения растительного покрова относительно почвенного покрова, анализ распределения загрязнения (по всем поллютантам) относительно высоты и растительного покрова [6].

Уточнение цифровой модели территории заповедника «Столбы» проводилось по данным дистанционного зондирования (рис. 2). Использовались спутниковые снимки SPOT 2/4 с разрешением 10 м (панхроматические) и 20 м (мультиспектральные), полученные через Систему сбора, хранения и обработки спутниковых данных СО РАН [7].

Для территории заповедника «Центральносибирский», с применением этих же методов анализа исследованы физико-географическая основа заповедника, гидрографическая сеть, данные растительного покрова, сейчас ведутся исследования по выявлению зависимости распределения растительного покрова относительно рельефа. Получены результаты для правого берега Енисея – Комсинское лесничество (рис. 3).

Основная порода для Комсинского лесничества – береза (40 % от всей площади), которая вносит значительный вклад в формирование древостоев на всей территории, это более 40 % на каждой высоте (на высоте 180 м около 60 % площади). Кедр (28 % от всей площади) также встречается на всей территории, но значительную часть составляет на высоте 260 м и 280 м, где он занимает более 60 % и, соответственно, более 80 % площади. Ель (13 % от всей площади) формирует древостой также на всех высотах данной территории и занимает 20 %. Менее всего на данной территории встречается сосняк (менее 1 % от всей площади), в основном до 160 м.

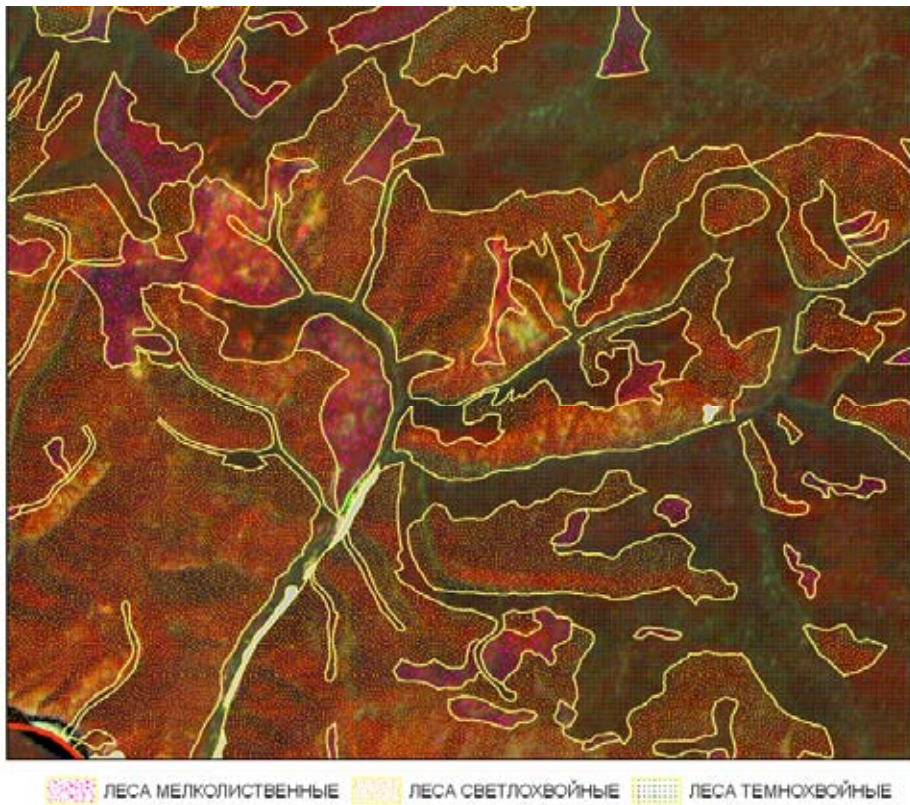


Рис. 2. Уточнение типов растительности заповедника «Столбы» по данным дистанционного зондирования

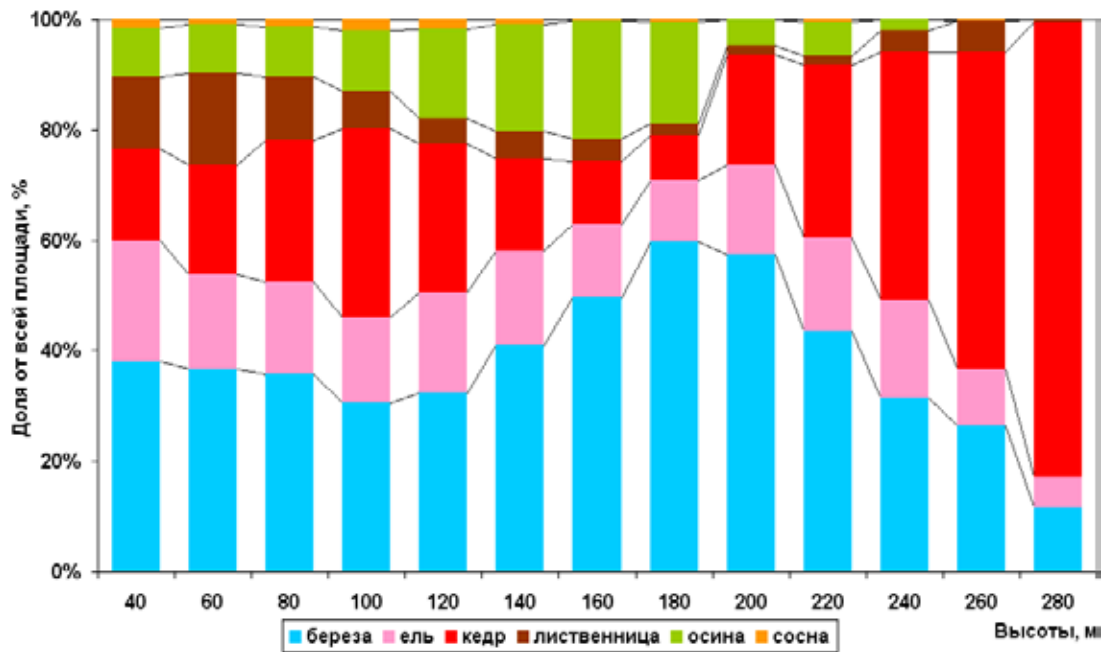


Рис. 3. Вклад каждой лесной формации на определенной высоте. Правобережная территория Комсинского лесничества заповедника «Центральносибирский»

Мониторинг загрязнения

Мониторинг экологического состояния на территории заповедника «Столбы» обеспечивается систематическими наблюдениями за различными компонентами экосистемы заповедника. На его территории существует сеть стационарных точек наблюдения, расположение которых обусловлено физико-географическими условиями местности (высотой местности, направлением хребтов, воздушных течений). В точках проводят сбор проб осадков, почвенных покровов, растительности.

Выбор показателей обусловлен тем, что территория заповедника подвержена антропогенному воздействию со стороны города. При этом состояние атмосферы учитывается косвенным образом, по состоянию биоиндикаторов – лишайников и древостоев сосны. Ведущими источниками выбросов вредных веществ являются предприятия топливно-энергетического комплекса, автотранспорт, предприятия цветной металлургии и химических производств. Накопление во внешней среде тяжелых металлов, а также мышьяка представляет серьезную опасность с точки зрения биологической активности и экотоксичности (рис. 4).

Для подробного анализа необходимо учитывать объективные показатели, которые фиксировали бы загрязнение среды в конкретных природных условиях. Проблема состоит в том, что используемые и разрабатываемые в настоящее время нормативы предельно допустимых концентраций (ПДК) далеко не всегда учитывают конкретные условия местности, специфику

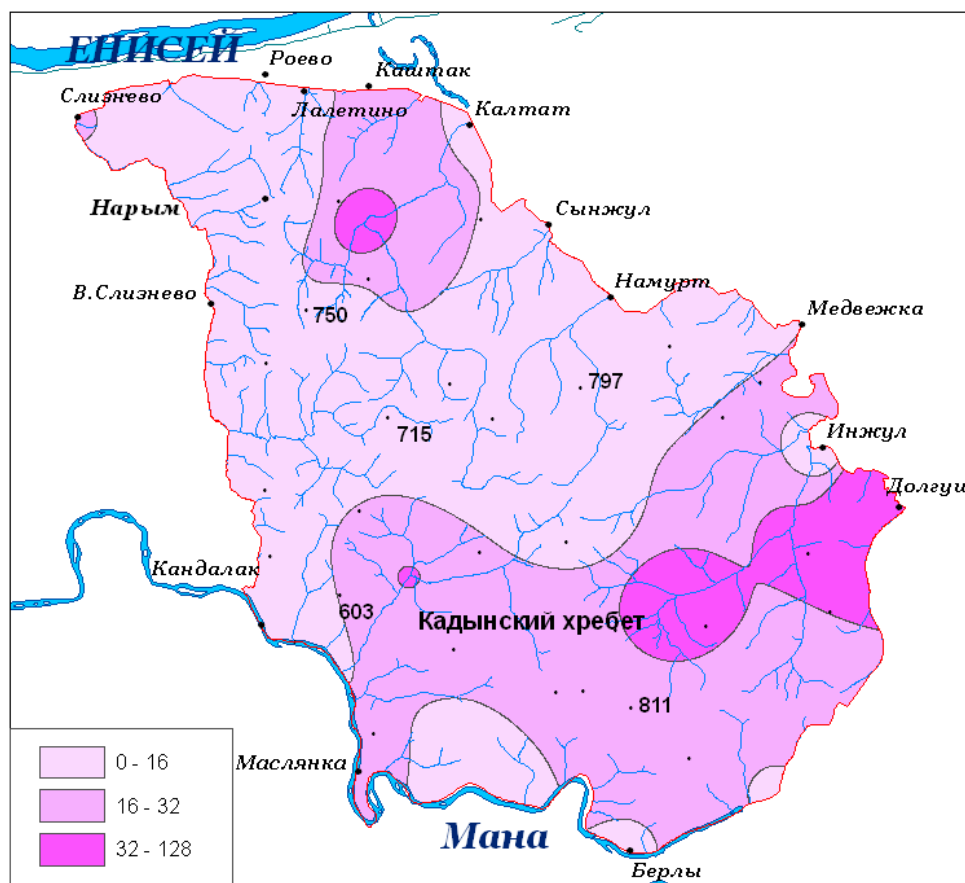


Рис. 4. Распределение суммарного загрязнения, содержащегося в зимних осадках, мг/л

воздействия загрязнений на исследуемую экосистему и проч. В связи с этим для оценки загрязненности среды поллютантами необходимо использовать фоновые концентрации элементов, т.е. их естественное содержание в почвах данного региона, или кларки (среднее содержание). В качестве фоновых значений поллютантов (тяжелые металлы и фтор) для почв и лесных подстилок для территории заповедника лучше всего использовать данные по центральной части Восточного Саяна – территории, близкой по геоморфологическому строению [8]. Для оценки загрязнения осадков, лишайников и растительности (пробы хвои сосны) в качестве фоновых были взяты точки как на территории заповедника, так и за его пределами, наиболее удаленные от источников загрязнения. Получены карты распределения тяжелых металлов и фтора в компонентах экосистемы заповедника и проведена оценка уровня химического загрязнения лесной подстилки, почвы, зимних осадков и хвои по значениям показателей, по коэффициенту концентрации отдельного поллютанта и по суммарному показателю загрязнения каждой компоненты экосистемы заповедника. В целом на территории заповедника содержание микроэлементов не достигает уровня ПДК, однако наблюдаются области с повышенным содержанием поллютантов.

Негативному влиянию промышленности г. Красноярска в основном подвержена лишь пригородная часть заповедника. Очаги загрязнения также наблюдаются в центральной части и на юге заповедника, что напрямую связано с рельефом местности. Наибольшая степень загрязнения соответствует возвышенностям с абсолютной отметкой выше 700 м над у.м. Именно на вершинах хребтов, перевалов складывается неблагоприятная экологическая обстановка, что хорошо прослеживается по полученным картам распределения таких тяжелых металлов, как ртуть, никель, цинк, свинец, а также фтор. Обобщением результатов по картированию загрязнения территории заповедника отдельными поллютантами являются карты распределения суммарного загрязнения в зимних осадках (рис. 4), в лесной подстилке, в почве и в хвое [9].

Так как в качестве фоновых значений для осадков, лишайников и растительности были взяты точки, наиболее удаленные от источников загрязнения, то для полного и объективного анализа экологического состояния заповедника «Столбы» решено использовать более «чистый» фон заповедника «Центральносибирский».

В 2004–2005 годах проведено исследование с целью выявления гидрохимических характеристик и проведения первичного экологического мониторинга водосборной территории бассейна реки Енисей в пределах границ заповедника «Центральносибирский» (рис. 5). Гидрографическая сеть территории заповедника «Столбы» и территории заповедника «Центральносибирский» включены в водосборную территорию крупной реки Енисей. Исследование водно-солевого режима вод естественных водоёмов позволяет изучать экологическое благополучие территории. Замеры солёности осуществлялись до впадения ручьев (выше по течению) после впадения (ниже по течению), и непосредственно в самих ручьях, а также до и после островов (осередков).

Установлено, что уровень солёности р. Столбовой и её притоков, протекающих через болотистые участки, даже при значительном количестве осадков не превышает значения 50 мг/л. Это свидетельствует об отсутствии загрязнений в реке как естественного происхождения, так и являющихся результатом антропогенной нагрузки.

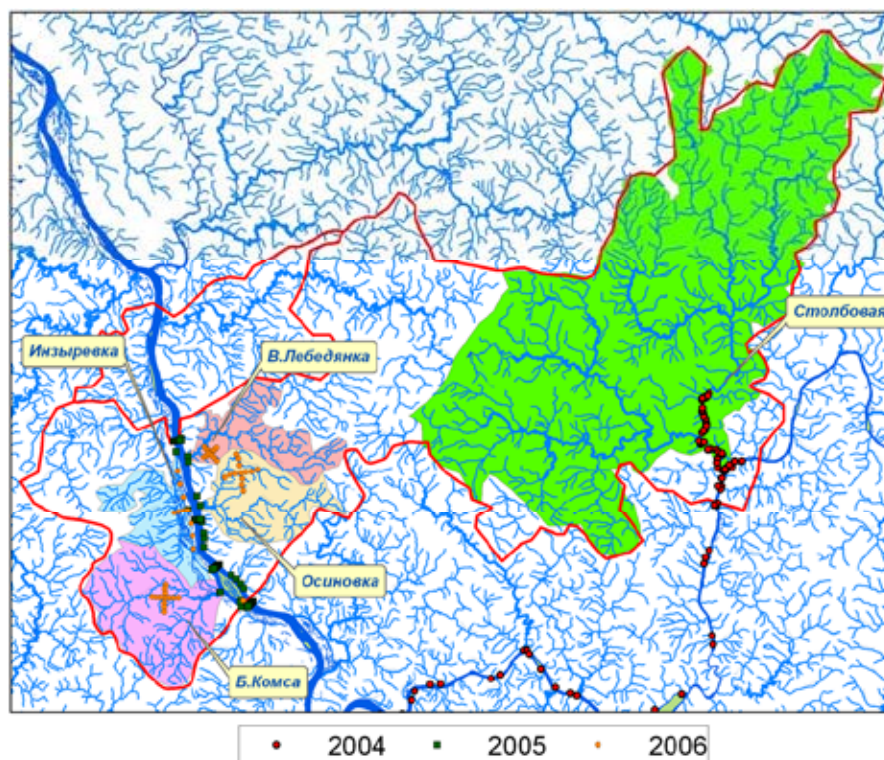


Рис. 5. Исследование по годам водосборной территории бассейна реки Енисей

Среднее значение солёности для каждой реки оценивалось по медиане, поскольку она наиболее устойчива к выбросам, так как солёность является информативным показателем экологического благополучия не только водных экосистем, но и наземных экосистем, составляющих водосборную территорию конкретной реки. В табл. 1 приведены основные реки заповедника «Центральносибирский» со значениями солёности рек. По данным таблицы видно, что значения солёности рек Осиновки и Большой Комсы превышают значения солёности для класса малосолёных рек, что свидетельствует о загрязнении в реках либо естественного происхождения, либо антропогенного влияния.

Таблица 1. Площадь водосбора и значение солёности крупных рек заповедника

Название реки	Площадь водосборной территории, км ²	Значение солёности, мг/л
Столбовая	5 372	42,40
Верхняя Лебедянка	358,89	51,72
Осиновка	408,15	63,67
Большая Комса	612,01	83,07

С целью получения более полной картины в 2006 году были проведены исследования фонового загрязнения зимних осадков на территории водосборов рек Осиновки, Инзыревки, Верхней Лебедянки и Большой Комсы (водосбор реки Столбовой не исследовался). Заложена сеть точек наблюдения бассейновым принципом, где собираются данные по распределению

концентраций для тяжелых металлов и фтора в зимних осадках (табл. 2). Для сравнения результатов исследования в табл. 2 приведены средние значения концентрации поллютантов для территории заповедника «Столбы» (взяты значения, удаленные от городской черты) и «экологически чистого» района города Красноярск. Полученные результаты показали, что не все элементы можно использовать как «чистый» фон и что территория заповедника «Центральносибирский» нуждается в экологическом мониторинге. Так, например, концентрации цинка, алюминия и кальция превышают фоновое значение территории заповедника «Столбы». В северной части заповедника «Центральносибирский» содержание никеля также превышает фоновое значение.

Таблица 2. Содержание микроэлементов в зимних осадках

Элементы	Бассейн реки Осиновки	Бассейн реки Лебедянки	Бассейн реки Инзыревки	Бассейн реки Бол. Комсы	Фон заповедника «Столбы»	Город Красноярск
F	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,48
S	0,10	0,29	0,10	0,10	0,67	4,42
Cl	0,150	0,150	0,150	0,150	0,940	1,890
Pb	0,0007	0,0007	0,0004	0,0009	0,0028	0,0042
Sr	0,004	0,007	0,004	0,004	0,004	1,024
Al	0,015	0,030	0,015	0,015	0,015	1,230
Cd	0,00009	0,00009	0,00009	0,00009	0,00009	0,00009
Fe	0,010	0,016	0,016	0,024	0,044	0,653
Cu	0,0017	0,0024	0,0009	0,0017	0,0029	0,0034
Zn	0,0083	0,0328	0,0101	0,0093	0,0089	0,0172
Cr	0,00005	0,00005	0,00005	0,00005	0,0006	0,0026
Mn	0,0037	0,0052	0,0039	0,0027	0,0150	0,1100
Ni	0,0004	0,0015	0,0002	0,0004	0,0005	0,0200
Co	0,0001	0,0002	0,0001	0,0001		
K	1,1	1,6	0,7	0,9	0,6	10
Na	0,5	2,5	0,3	0,4		
Ca	0,20	0,56	0,29	0,14	2,75	27
Mg	0,02	0,07	0,04	0,02	0,48	5,30

В 2008 году расширена сеть точек наблюдения за территорией заповедника «Центральносибирский», заложено более 30 точек наблюдения (включая водораздел Столбовой), где в марте собраны пробы зимних осадков. На сегодняшний момент обрабатываются данные по распределению концентраций для тяжелых металлов и фтора, которые, мы надеемся, позволят выявить степень загрязнения территории заповедника «Центральносибирский».

Детальные результаты исследования территории заповедника «Столбы» доступны на сайте «Экологический атлас заповедника «Столбы» [10], а результаты исследований, проводимых на территории заповедника «Центральносибирский», представлены на официальном сайте заповедника [11].

Необходимо создание динамического интерактивного Интернет-сайта – информационно-аналитической системы заповедника, призванной систематизировать имеющиеся данные,

обеспечить свободный доступ к ним большого числа пользователей, а также дающей возможность визуализации и анализа картографической информации. Кроме того, эта система должна позволить сотрудникам заповедника, не являющимся специалистами в области информационных технологий, оперативно обновлять и пополнять содержимое сайта.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ для ведущих научных школ НШ-3431.2008.9 и междисциплинарного интеграционного проекта СО РАН № 86.

Список литературы

1. Родзин В.И. и др. Основы экологического мониторинга. М., 1988.
2. Козлов В.В. Государственный заповедник «Столбы» // Тр. гос. заповедника «Столбы». Красноярск: Краснояр. кн. изд-во, 1958. С. 45 – 57.
3. Сыроечковский Е.Е., Рогачева Э.В., Большаков Н.Н. и др. Центрально-сибирский заповедник // Заповедники Сибири. Т. II / под общ. ред. Д. С. Павлова, В. Е. Соколова и Е. Е. Сыроечковского. М.: ЛОГАТА, 2000. С. 82 – 110.
4. Ерунова М.Г. Создание геоинформационной системы Красноярского заповедника «Столбы» // Заповедное Дело. Научно-метод. записки комиссии по заповед. делу. Вып. 9. М., 2001. С. 76 – 80.
5. Ерунова М.Г., Кадочников А.А., Якубайлик О.Э. Геоинформационный анализ природных ресурсов государственного заповедника «Столбы» // География и природные ресурсы. 2006. № 2. С. 136 – 142.
6. Egunova M.G., Sadovsky M.G., Gosteva A.A. GIS-aided simulation of spatially distributed environmental processes at “Stolby” state reservation // Ecological Modelling, issue 195/3-4, 2006. 11 p.
7. Шокин Ю.И., Добрецов Н.Н., Пестунов И.А. и др. Система сбора, хранения и обработки спутниковых и наземных данных Новосибирского научного центра СО РАН // Вестник КазНУ им. Аль-Фараби. 2008. №4(59). Изд-во Казахского национального университета: Совместный выпуск по материалам межд. конференции ВИТ-2008, ч. III. С. 371 – 375.
8. Зиновьева Н.П., Тепкина Л.А. Этилакрилат // Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест (Дополнение №2 к списку ПДК № 3086-84 от 27.08.84). М.: Минздрав СССР, 1987. С. 51 – 53.
9. Ерунова М.Г., Коловский Р.А. Использование геоинформационных систем для изучения экологического состояния территории государственного природного заповедника «Столбы» // Изучение и охрана природы Алтае-Саянской горной страны: Материалы научной конференции, посвященной 70-летию Алтайского Государственного природного заповедника. Горно-Алтайск, 2002. С. 27 – 29.
10. <http://info.krasn.ru/stolby/> – Сайт «Экологический атлас заповедника «Столбы».
11. <http://www.centraisib.ru/> – Сайт Государственного биосферного заповедника «Центральносибирский».

G.I.S. Support for Ecological Monitoring of Natural Reserved Territories

**Marina G. Erunova^a, Anna A. Gosteva^a
and Oleg E. Yakubailik^b**

^aSiberian Federal University,

79 Svobodny, Krasnoyarsk, 660041 Russia

^bInstitute of Computational Modeling SB RAS,

50 build. 44 Academgorodok, Krasnoyarsk, 660036 Russia

Reserved territories seem to be the best reference sites of wildnature, where the long-term observations are carried out. The paper presents a GIS-aided study of the dynamics of some global pollutants at “Tzentral’nosibirskii” State Biospheric Reservation. This paper provides a comparative study to another reserved territory presented earlier. Also, the modelling techniques and methodology peculiarities are discussed.

Keywords: geo-informatics, ecological monitoring, digital model of zapovednik, modelling of pollutant distribution.
