

Таким образом, оценивая природные и социально-экономические условия Республики Алтай устанавливаем: природа ее разнообразна и уникальна, и это, несомненно, является основой для развития геотуризма. Большая часть территории характеризуется суровым климатом, особенно в зимний период, к тому же и большинство геолого-географических объектов в это время скрыто под снегом, что практически исключает их обозрение. В этой связи геомаршруты целесообразны только в теплое время года. Ограничивающими факторами для геотуризма являются слаборазвитые инфраструктура и дорожная сеть, а также недоступность отдельных районов, поэтому развивать данное направление необходимо на основе уже имеющихся инфраструктурных объектов. Составление тематических маршрутов необходимо ориентировать на преобладающий тип природных объектов, учитывая при этом контингент — уровень подготовленности туристов, их образованность в области географии и геологии (специалисты, студенты, любители).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Путрик Ю. С., Свешников В. В.** Туризм глазами географа. — М., 1986.
2. **Концептуальная** программа экологически устойчивого развития Республики Алтай. — Горно-Алтайск, 1998.
3. **Постников Д. А.** Ландшафтный подход как основа оценки территории Уральского Прикамья для организации активного туризма: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. — Пермь, 2000.
4. **Анисимова Н. П.** Районирование территории Республики Алтай по типам природных объектов с целью использования их в геотуризме // Вопросы географии Сибири. — Томск, 2001. — Вып. 24.
5. **Сухова М. Г.** Климаты ландшафтов Горного Алтая и их оценка для жизнедеятельности человека: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. — Барнаул, 2001.
6. **Симонов Ю. Г., Кружалин В. И.** Инженерная геоморфология. — М., 1993.

Томский политехнический  
университет

Поступила в редакцию  
12 апреля 2005 г.

УДК 504.064

**М. Г. ЕРУНОВА, О. Э. ЯКУБАЙЛИК, А. А. КАДОЧНИКОВ**

#### **ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ ГОСУДАРСТВЕННОГО ЗАПОВЕДНИКА «СТОЛБЫ»**

*Предложена разработка методического и информационного обеспечения системы мониторинга состояния природной среды заповедника «Столбы». Обоснованы последовательность и содержание этапов работы, методы составления тематических карт. Подготовленные карты доступны в электронном экологическом интернет-атласе заповедника.*

*It is proposed to develop the methodological and information support of the monitoring system for the state of natural environment of zapovednik «Stolby». A substantiation is provided for the sequence and content of operations, and for the methods of constructing thematic maps. The maps that have been prepared can all be accessed via the electronic ecological Internet-atlas of the zapovednik.*

Для составления научного прогноза изменений природной среды, оценки влияния различных форм человеческой деятельности на природные комплексы и определения методов наиболее рационального использования природных ресурсов исключительное значение сегодня приобретают заповедные территории. Они требуют комплексного исследования, поскольку являются эталонами природных экосистем.

За период существования заповедников накоплены многолетние данные о целом ряде их природных компонентов. Количество научно-исследовательской информации очень велико и продолжа-

© 2006 Ерунова М. Г., Якубайлик О. Э., Кадочников А. А.

ет расти, поэтому актуальна проблема ее хранения, систематизации, обработки и анализа. Современные средства вычислительной техники и информационные технологии позволяют эффективно решить эту проблему и создать программный инструмент для исследования экосистем заповедников в условиях антропогенной нагрузки. Поскольку данные имеют территориальную привязку, для разработки целесообразно использовать геоинформационные системы.

Как эффективный способ представления результатов анализа состояния природной среды рассматриваются ГИС-атласы заповедных территорий в Интернете, позволяющие наглядно ознакомиться с природными ресурсами этих территорий. Результаты данного исследования также представлены в Интернете, в специализированном экологическом атласе.

Предложенный комплексный подход отличается от существующих тем, что для заповедника «Столбы» создана информационно-аналитическая система, включающая информационное, аналитическое и методическое обеспечение для ввода, хранения, анализа и визуализации разнородных пространственных данных, представленных в доступном варианте.

Следует отметить, что работы на стыке геоинформационных и Интернет-технологий появились относительно недавно и находятся в стадии формирования. Разработчики ведущих коммерческих ГИС в последние несколько лет представили программные продукты в этой области. Активное участие в процессе разработки стандартов обмена и представления геоинформационных данных в сети принимает международный Консорциум OpenGIS [1]. В России под эгидой ГИС-Ассоциации в декабре 2000 г. состоялась первая научно-практическая конференция «ГИС и Интернет», а также в Интернете появилось несколько ГИС с картами-схемами городов и территорий [2–4], однако, как правило, их содержание посвящено бизнес-информации и не связано с научными исследованиями.

Проведение научных работ на территории природного заповедника «Столбы» обусловлено его расположением вблизи крупного промышленного центра — г. Красноярск, а следовательно — проблемами техногенного загрязнения и рекреационной нагрузки. Материалы многолетних исследований (практически со времени создания заповедника) позволяют выявлять изменения динамики природных процессов [5].

Данная работа направлена на создание методического и информационного обеспечения системы мониторинга состояния природной среды заповедника. На основе современных информационных технологий и комплексного подхода в оценке экологического состояния территории, с использованием методов картографического моделирования и геоинформационного анализа решены следующие задачи: 1) создана цифровая модель заповедника «Столбы»; 2) проведен геоинформационный анализ его физико-географических характеристик; 3) дана оценка экологического состояния, связанного с распределением поллютантов; 4) создан экологический интернет-атлас заповедника.

При работе использованы инструментальные средства ГИС GeoDraw и GeoGraph, разработанные в Институте географии РАН. Данные с GPS снимались при помощи программного продукта OziExplorer. Для связи прямоугольных и географических координат в среде GeoDraw использовалась программа PRJbld. Для анализа пространственных данных применялись программные средства ГИС ArcView 3.x с модулем расширения Spatial Analyst 1.x и 3D Analyst. Для преобразования форматов картографических данных применялась ГИС MapInfo Professional 6.0; для обработки табличных данных — программы Microsoft Excel, StatSoft Statistica и др.; для конвертирования данных создавались специализированные утилиты на Delphi.

Как первичные данные использовались бумажные карты: физико-географическая (м-б 1:25 000), растительного (м-б 1:25 000) и почвенного (м-б 1:50 000) покрова. Технология преобразования бумажной карты в цифровую модель поверхности включала следующие этапы: сканирование, работу в программе-векторизаторе GeoDraw, сбор всех слоев в одну карту в ГИС ArcView (всего 15) [6] — изолинии высоты, граница заповедника, столбы, скальные останцы, крупные и мелкие реки, ручьи, лесные дороги, пешеходные тропы, кордоны, квартальная сетка заповедника, высотные отметки, растительный и почвенный покров.

Для оценки точности цифровой модели заповедника выбрана наиболее сложная из подготовленных цифровых карт — карта растительности. Ее сложность обусловлена тем, что полигонов на этом слое больше, чем на других (>2100). Для каждого полигона получена ошибка точности. Для определения усредненной ошибки карты в целом использовалась медиана, как наиболее устойчивая к выбросам ( $M_e = 7,77$ ).

Для исследования физико-географических характеристик территории использовался ряд методов пространственного анализа [7], что позволило получить более полное представление о состоянии природных, биологических ресурсов заповедника. Изучены его карты — физико-географическая, гидрографической сети, растительного и почвенного покрова, и на основе геоинформационного анализа рассмотрены зависимость распределения растительного и почвенного покрова от высоты, а также распределение растительного покрова относительно почвенного. Полученные количественные оценки отражены на графиках.

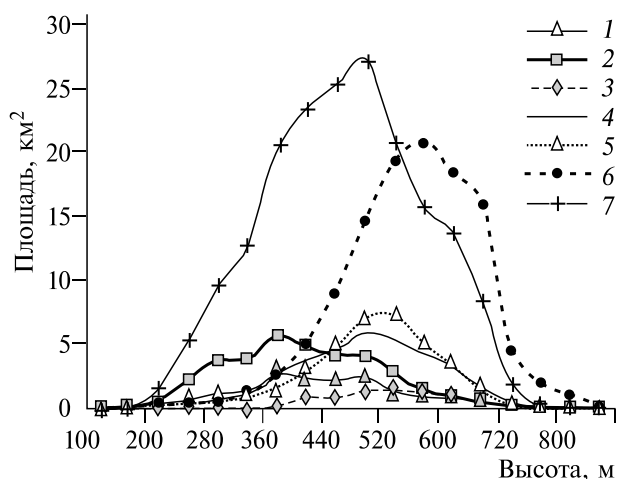


Рис. 1. Распределение лесных формаций по рельефу (площадь подсчитана для диапазонов высот с шагом 40 м).

1 — березняки; 2 — ельники; 3 — кедровники; 4 — лиственничники; 5 — осинники; 6 — пихтарники; 7 — сосняки.

Как показывает анализ распределения лесных формаций по высоте (рис. 1), почти на всех высотах заповедника преобладают сосняки, распространенные до 800 м абс. выс., однако чаще всего они встречаются в интервале от 300 до 700 м, где занимают площади от 15 до 25 км². При этом их максимальная площадь отмечена на выс. 500–520 м — более 25 км². Пихтарники — вторая по распространенности лесная формация — появляются с выс. 240 м, а с выс. 600 м они доминируют на всей территории заповедника. Осинники встречаются на выс. от 300 до 700 м и занимают площади от 15 до 25 км². Преобладают осинники на выс. 400–600 м. Остальные формации распределены равномерно.

Оценен и вклад каждой лесной формации на определенной высоте, где занимаемая ею площадь выражена в долях относительно всей площади заповедника. Так, ельники преобладают в основном на высоте до 200 м (80 % площади леса). Высота более 800 м занята преимущественно пихтарниками. Сосняки преобладают на высоте от 200 до 400 м, березняки равномерно встречаются от 200 до 800 м, кедровники — от 360 до 760 м и вносят незначительный вклад в состав лесного покрова на каждой высоте.

На уточненной карте растительного покрова заповедника «Столбы» в последние годы отмечена смена осинников пихтовыми лесами. Карта содержит классификацию растительности с выделением 70 групп типов леса, представляющих 21 серию. Основное назначение этой карты заключается в отображении территориального размещения групп и серий типов биогеоценозов в основных структурных единицах — высотно-поясных комплексах (ВПК), эквивалентных высотно-растительным поясам.

Проводимые в заповеднике мониторинговые исследования с целью своевременного получения данных об уровне загрязняющих веществ в биосфере позволяют оценивать фактическое состояние экосистем заповедника и составлять прогнозы возможных последствий загрязнения [8].

Расположение стационарных точек наблюдения определяется физико-географическими условиями местности — высотой, направлением хребтов и воздушных течений. Здесь отбираются пробы атмосферных осадков, лесных подстилок, почв и растительности, результаты их анализа представляются в виде рукописных или отпечатанных таблиц.

Для работы использовались данные по распределению концентраций поллютантов, полученные сотрудниками научного отдела заповедника: в почве (слой 0–10 см), в лесной подстилке, в хвое, в осадках (зимних) [9]. Затем эти данные обрабатывались в аналитической лаборатории Института биофизики СО РАН (Красноярск). Содержание микроэлементов в пробе определялось следующими методами: атомно-абсорбционным — кальций, магний, железо, медь, марганец, цинк и кобальт; титрометрическим — сера; эмиссионным спектральным — алюминий, свинец, никель, хром; пламенной фотометрии — калий и натрий, а фтор — химико-токсикологическим [10–12]. Обработаны также данные по суммарному загрязнению. Для объективной оценки экологической ситуации рассматривались распределение и взаимодействие поллютантов в каждом компоненте среды.

При построении карт распределения загрязнений использовалась ГИС ArcView с модулем расширения Spatial Analyst, для интерполяции данных по пространству — метод обратно взвешенных расстояний (IDW).

Степень воздействия того или иного поллютанта на природную среду необходимо оценивать по объективным показателям, характеризующим загрязнение в конкретных природных условиях. Однако в существующих и разрабатываемых в настоящее время нормативах ПДК далеко не всегда учитываются конкретные условия местности, специфика воздействия загрязнений на экосистему и др. В связи с этим при оценке загрязненности среды нами учитывались фоновые концентрации поллютантов, т. е. их естественное содержание в почвах данного региона, или кларки (среднее содержание). В качестве фоновых значений загрязнителей (тяжелые металлы и фтор) в почвах и лесных подстилках заповедника использовались данные по центральной части Восточного Саяна — территории, близкой по геоморфологическому строению к анализируемой [13, 14].

Оценка уровня химического загрязнения проводилась по показателям, разработанным при сопряженных геохимических и гигиенических исследованиях окружающей среды городов, — коэффициенту концентрации химического вещества  $K_c$  и суммарному показателю загрязнения  $Z_c$  [15].

$$K_c = \frac{C}{C_{\text{ф}}}, \quad (1)$$

где  $C$  — реальное содержание микроэлемента в среде,  $C_{\text{ф}}$  — его фоновое содержание.

Коэффициент концентрации — показатель кратности превышения содержания химических элементов в точке взятия пробы над его средним содержанием на фоновом участке в аналогичной природной среде. Фоновые участки выбираются на территориях, не подвергающихся загрязнению или испытывающих его в незначительной степени.

Часто компоненты экосистемы загрязнены сразу несколькими элементами, поэтому для них рассчитывается суммарный показатель, отражающий эффект воздействия группы поллютантов, определяемый как для всех элементов в одной пробе, так и для участка территории по геохимической выборке [16].  $Z_c$  представляет собой сумму превышения коэффициентов концентраций химических элементов, накапливающихся в техногенных аномалиях, и рассчитывается по формуле

$$Z_c = \Sigma K_c - (n - 1), \quad (2)$$

где  $n$  — число элементов.

На основе полученных данных построены карты распределения тяжелых металлов и фтора в компонентах экосистемы заповедника. Оценка уровня химического загрязнения лесной подстилки, почвы, зимних осадков и хвои проводилась по значению  $K_c$  отдельного поллютанта и  $Z_c$  каждого компонента экосистемы заповедника. Установлено, что в целом на этой территории содержание микроэлементов не достигает уровня ПДК, однако на отдельных участках выявлено их повышенное содержание относительно фонового.

Целесообразно подробнее остановиться на распределении цинка — подвижного элемента в слабкокислых и кислых почвенных условиях, умеренно фитотоксичного, повышение концентрации которого в почвах приводит к угнетению растительности [17]. Главные источники его поступления в почву — отходы промышленных производств, таких как цветная металлургия, лакокрасочная промышленность, гальваническое производство, а также коммунально-бытовые отходы и илы городских очистных сооружений.

При анализе карты распределения концентрации цинка в лесной подстилке (рис. 2, а) установлено, что содержание этого элемента в основном превышает фоновое значение, за исключением небольшой территории в районе кордона Сынжул, где оно составляет менее 40 мг/кг. На основной же площади заповедника оно колеблется от 40 до 80 мг/кг, что превышает фоновое значение вдвое. На площадях, приуроченных к долинам рек Калтат, Слизневая, Слизневая Рассоха, Дрянная, руч. Быковского, наблюдается очень высокое содержание цинка — более 80 мг/кг.

Распределение цинка в почвах (см. рис. 2, б) отличается от такового в лесной подстилке, на основной площади оно близко к фоновому (фоновый показатель — 51 мг/кг), однако наблюдаются и очаги повышенного содержания элемента. В основном они совпадают с участками повышенного содержания цинка в лесной подстилке, что позволяет предположить его перераспределение в системе лесная подстилка—почва как активного мигранта в кислой среде. Коэффициент корреляции между распределением цинка в почве и лесной подстилке 0,63. Наличие участков повышенного содержания цинка в почвах, территориально совпадающих с таковыми в подстилке, свидетельствует о вертикальном перераспределении элемента в почвенном профиле.

Повышенное содержание цинка в осадках отмечено на водоразделе руч. Медвежьего и р. Плетняжной и в пригородной зоне заповедника (см. рис. 2, в). Совпадения между ними и очагами повышенного содержания цинка в хвое, почвах или лесной подстилке не наблюдается. Повышенная концентрация цинка в растительности (см. рис. 2, г) отмечена на двух участках — в верховьях рек Намурт и Калтат и в месте слияния Слизневой Рассохы и Большой Слизневой. Важно отметить, что участки повышенного содержания цинка в растительности территориально не связаны с таковым в лесных подстилках и верхнем горизонте почв, а следовательно, оно связано с повышенным содержанием этого элемента в горной породе.

Негативному влиянию промышленности Красноярска в основном подвержена лишь пригородная часть заповедника, хотя очаги загрязнения наблюдаются также в центральной и южной его частях, что напрямую связано с рельефом местности. Наибольшая степень загрязнения соответствует возвышенностям с абс. выс. более 700 м, т. е. неблагоприятная экологическая обстановка складывается на вершинах хребтов и перевалах. Это хорошо прослеживается по составленным картам распределения таких тяжелых металлов, как ртуть, никель, цинк и свинец, а также фтора. Обобщенным результатом картографирования загрязнения территории заповедника отдельными поллютантами являются карты распределения суммарного загрязнения в зимних осадках и лесной подстилке (рис. 3, а, б).

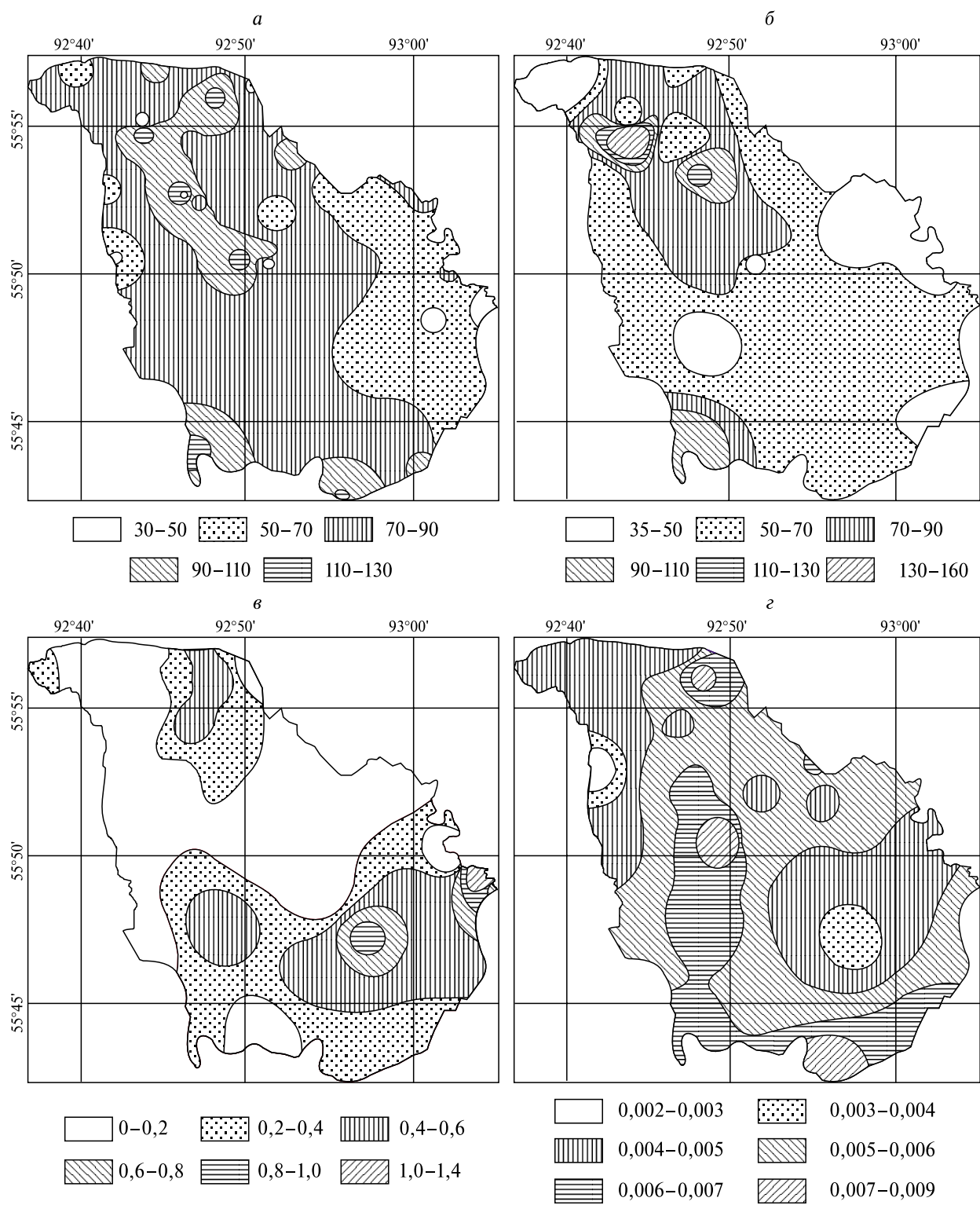


Рис. 2. Распределение цинка на территории заповедника в лесной подстилке (а), мг/кг; в почве (б), мг/кг; в зимних осадках (в), мг/л; в хвое сосны (г), % от сухого вещества.

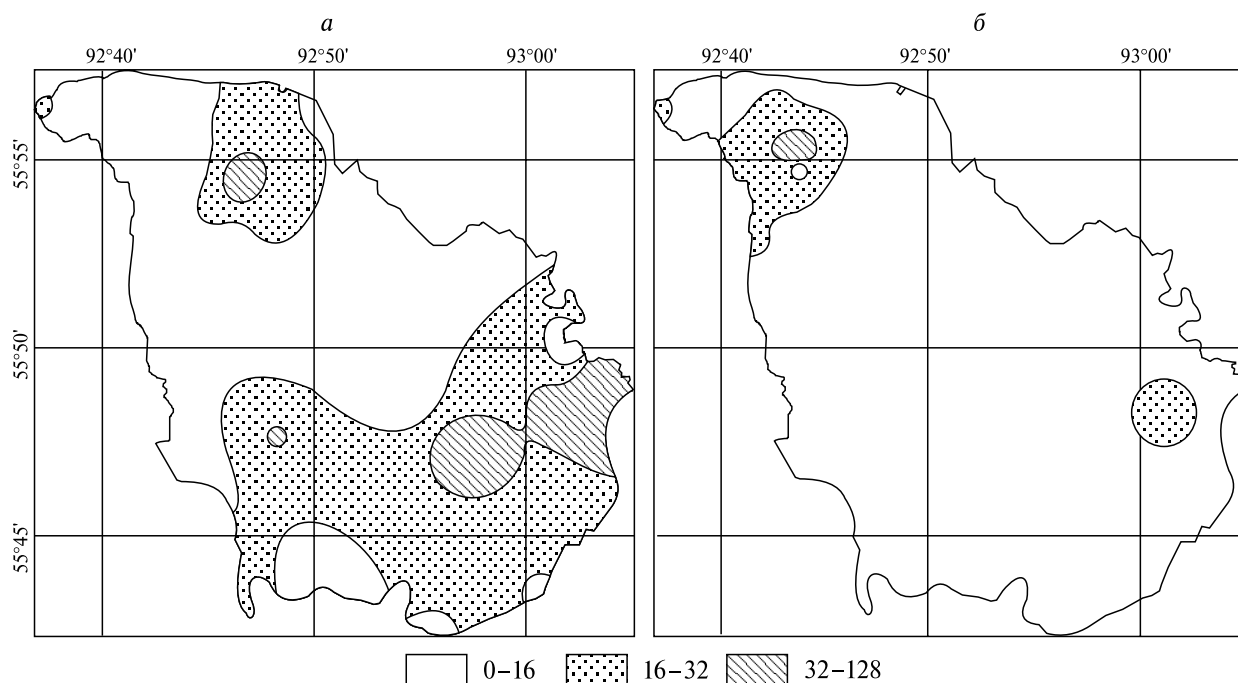


Рис. 3. Распределение суммарного загрязнения в зимних осадках (а) и лесной подстилке (б), мг/кг.

В зимних осадках сумма коэффициентов концентрации на основной территории находится в допустимом значении  $<16$  (умеренно опасная концентрация, как и для подстилки,  $16-32$ ; опасная —  $32-128$ ). Очаги загрязнения обнаружены в пригороде и в районе Кайдынского хребта. В почве и в подстилке по суммарному загрязнению наиболее загрязненные районы — скала Китайская стенка, кордон Каштак, Кузьмичева поляна. Анализ по выявлению загрязнения хвои выявил, что его суммарный показатель не превышает допустимой концентрации.

Созданный цифровой атлас заповедника «Столбы» (<http://info.krasn.ru/stolby/>) представляет собой набор тематических электронных карт, характеризующих территорию заповедника. Его программное обеспечение создавалось в архитектуре клиент-сервер для операционной системы Unix с использованием набора стандартных и специализированных инструментальных программных средств. Форматом данных картографических систем принят стандартный открытый SHP файлов ГИС ArcView. Разработка серверной части экологического атласа выполнялась преимущественно на языке программирования PHP, а клиентской — JavaScript и Java.

Серверная часть состоит из собственно находящегося в сети физического сервера, где расположены физические карты электронных карт, их описания для программного обеспечения MapServer, шаблоны отображения выходных данных, а также гипертекстовые документы в формате HTML. В качестве программного обеспечения серверной части выступают веб-сервер и взаимодействующее с ним PHP приложение, построенное на основе программного обеспечения MapServer и Proj 4, а также реализующее дополнительные функциональные возможности на языке PHP. Логически серверную часть можно разделить еще на две части.

1. PHP-сценарий, обеспечивающий обработку пользовательских запросов и подготовку страницы. В этой части реализованы работа с базой данных, функциями MapServer, шаблонами и визуализация страницы пользователя. В результате взаимодействия всех блоков с помощью языка PHP создается страница, которая отправляется пользователю.

2. Данные — базы данных, шаблоны и картографическая информация. Эта часть обеспечивает подготовку всей информации, которая выводится на сервер, где затем используется в PHP-сценарии.

Каждая из частей может разрабатываться и подготавливаться независимо от другой, а пользователь может заниматься одной из них, не подозревая о том, как функционирует другая.

Подготовку данных можно разделить на три блока: сервер БД и базы данных — подготовка данных и администрирование сервера БД; файлы описания карт и карты — подготовка картографической информации и написание тар-файлов (файлы описания карт, используемые MapServer); шаблоны — базовая страница пользователя, по которой создается готовая страница. Все три блока также могут разрабатываться независимо друг от друга.

На странице для удобства работы с картой предусмотрен ряд элементов управления: возможность включения и выключения слоев, тематическая легенда, описание конкретного тематического слоя, выбор масштаба и размера карты, навигация по карте (увеличение, уменьшение, сдвиг), запросы по объектам на карте, просмотр дополнительной информации по тематическим слоям.

Экологическая ситуация в заповеднике может меняться во времени, что делает необходимым постоянное введение новых слоев в ГИС-атлас.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. <http://www.opengis.org> — сайт Консорциума OpenGIS.
2. <http://nakarte.ru/> — на карте. Интерактивные карты.
3. <http://mirkart.ru> — Мир карт: Портал интерактивных карт городов и стран.
4. <http://eatlas.ru> — eAtlas. Картографический информационно-справочный сервер.
5. **Козлов В. В.** Государственный заповедник «Столбы» // Труды государственного заповедника «Столбы». — Красноярск, 1958.
6. **Ерунова М. Г.** Создание геоинформационной системы Красноярского заповедника «Столбы» // Заповедное дело: Научно-методические записки Комиссии по заповедному делу. — М., 2001. — Вып. 9.
7. **Замай С. С., Якубайлик О. Э.** Программное обеспечение и технологии геоинформационных систем. — Новосибирск: Наука, 1998.
8. **Коловский Р. А., Бучельников М. А.** Биоиндикация в заповеднике «Столбы»: оценка и прогноз // Труды государственного заповедника «Столбы». — Красноярск, 2001.
9. **Коловский Р. А.** Опыт организации экологического мониторинга в заповеднике «Столбы» // Проблемы заповедного дела Сибири. — Шушенское, 1996.
10. **Методические** указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. — М., 1992.
11. **Полуэктов Н. С.** Методы анализа по фотометрии пламени. — М.: Химия, 1967.
12. **Брицке М. Э.** Атомно-абсорбционный спектроскопический анализ. — М.: Химия, 1982.
13. **Бажкова Е. В., Модина Е. Н., Воробьева Т. Н.** Пространственная организация почвенного покрова и ее связь с геохимической структурой территории ТЭР заповедника «Столбы» // ГИС в научных исследованиях заповедников Сибири. — Красноярск, 2001.
14. **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.
15. [http://res.krasu.ru/ses/doc/1\\_1.shtml](http://res.krasu.ru/ses/doc/1_1.shtml) — сайт Центра государственного санитарно-эпидемиологического надзора в Красноярском крае.
16. **Методические** указания по оценке степени опасности загрязнения почвы химическими веществами № 4266–87. — М., 1987.
17. **Давыдова С. Л., Тагасов В. И.** Тяжелые металлы как супертоксиканты XXI века: Учеб. пособие. — М.: Изд-во РУДН, 2002.

*Институт вычислительного моделирования  
СО РАН, Красноярск*

*Поступила в редакцию  
17 июня 2004 г.*