

В.А. Крутиков, Ю.М. Полищук

Геоинформационное обеспечение мониторинга окружающей среды и климата

*Институт оптического мониторинга СО РАН,
Томский региональный центр геоинформационных технологий СО РАН, г. Томск*

Поступила в редакцию 12.11.2001 г.

Определены состав и структура геоинформационного обеспечения задач мониторинга окружающей среды и климата. Рассмотрены требования к формированию базы данных, позволяющей накапливать разнородную информацию, получаемую в результате междисциплинарных исследований объекта мониторинга. Описана модульная структура геоинформационной системы, базы данных и рассмотрен состав программного обеспечения и системы основных и тематических цифровых карт исследуемых территорий. Обсуждаются вопросы обработки космических снимков и создания комплекса прикладных программ моделирования в составе геоинформационного обеспечения комплексного мониторинга и использования результатов численного моделирования.

Введение

Современный подход к устойчивому социально-экономическому развитию любой территории, в том числе и Сибири [1, 2], требует проведения оперативного и комплексного анализа полной и достоверной информации не только о состоянии природно-хозяйственного комплекса, но и об изменениях состояния окружающей среды региона, в особенности о климато-экологических, с возможностью использования различных моделей и вариантов прогноза таких изменений. В связи с этим возникает проблема накопления, хранения и обработки больших объемов разнородных климато-экологических данных, а также оперативного и наглядного отображения результатов обработки и анализа полученных данных с использованием современных информационных технологий.

С другой стороны, практический анализ многолетних инструментальных наблюдений состояния окружающей среды и климата указывает на наличие существенной пространственной неоднородности исследуемых процессов с характерными масштабами изменений в несколько сотен километров (например, очаговый характер ускоренного потепления отдельных регионов Сибири [3]), а также необходимость детального изучения крупных природных образований типа Большого Васюганского болота (БВБ) [4]. В настоящее время эти задачи могут успешно решаться с применением геоинформационных систем (ГИС) [5–10], представляющих класс автоматизированных информационных систем, в которых обеспечена пространственная (географическая) «привязка» всей хранимой информации. Традиционно ГИС, получившие широкое распространение в мировой практике, включают в свой состав базы данных и средства автоматизации обработки и отображения картографической информации [10–13].

При создании таких систем для решения задач мониторинга окружающей среды и климата требуется учитывать ряд существенных особенностей.

Первой из них является необходимость обоснованного выделения в каждом регионе лидирующих факторов природного или антропогенного происхождения и, следовательно, формирования в составе геоинформационной системы развитого комплекса математических моделей для анализа и прогноза климато-экологического состояния региона, а также для моделирования различных физических, химических и биологических процессов.

Вторая особенность связана с необходимостью мониторинга не только средних значений параметров состояния окружающей среды и климата, но и их динамических характеристик, т.е. скорости изменения этих параметров и других временных характеристик.

Третья особенность определяется тем, что наряду с данными, полученными путем инструментальных измерений (наблюдений) за изменениями характеристик атмосферы и параметров экологического состояния окружающей среды, все большее значение для задач анализа и прогноза климато-экологического состояния приобретает особый вид информации – экспертная информация, основанная на опыте и интуиции специалистов (экспертов) и обычно накапливаемая в базах знаний экспертных систем.

Указанные особенности задач мониторинга окружающей среды и климата требуют разработки соответствующего методологического подхода к созданию геоинформационной системы, предназначенной для интеграции разнородной климато-экологической информации, которая может накапливаться и храниться в ГИС в виде моделей, баз данных и баз знаний. В состав ГИС должны быть включены базы данных об отдельных приоритетных объектах климато-экологического мониторинга региона и об экологическом состоянии

территории (о концентрациях химических загрязнителей среды и их медико-биологических свойствах, об источниках техногенного загрязнения и др.), комплексы программ моделирования и прогноза состояния климато-экологического комплекса, а также прикладные программы пользователей ГИС.

1. Методологические вопросы построения ГИС мониторинга окружающей среды и климата

1.1. Общая характеристика ГИС-технологий

Рассмотрим вопросы разработки технологии обработки разнородной климато-экологической информации. Опыт эксплуатации компьютерных систем, включая и геоинформационные системы, показал, что эффективность и качество работы таких систем в значительной степени определяются технологией обработки информации от момента получения запроса до момента выдачи результатов обработки. Под запросами здесь понимаются не только тематические запросы на проведение поиска информации в базах данных, но и запросы на выполнение определенных работ, например построение регрессионных моделей по данным о состоянии отдельного приоритетного объекта мониторинга.

В литературе по геоинформатике информационные технологии, осуществляемые средствами ГИС, получили название ГИС-технологий [9]. Под ГИС-технологией понимается совокупность информационной технологии решения конкретных задач пользователей и соответствующих комплексов программных и технических средств ГИС. Информационная технология представляет собой совокупность операций ввода, обработки, хранения, поиска и выдачи информации, выполняемых в последовательности, которая определяется задачами пользователей ГИС. При проектировании ГИС-технологии необходимо учитывать ряд требований:

- непрерывность процесса,
- рациональное сочетание ручных и автоматизированных способов обработки информации (с использованием диалогового режима);
- минимальное дублирование информации в файлах данных;
- однократная обработка информации с многоаспектным ее использованием для решения разных задач.

Геоинформационное обеспечение задач комплексного мониторинга окружающей среды и климата, ориентированное на использование ГИС-технологий, является модульной системой и должно объединять ряд информационных ресурсов, главными из которых являются четыре компонента: базы данных, цифровые карты, модели и средства анализа и прогноза. Обобщенная структура ГИС комплексного мониторинга приведена на рис. 1.

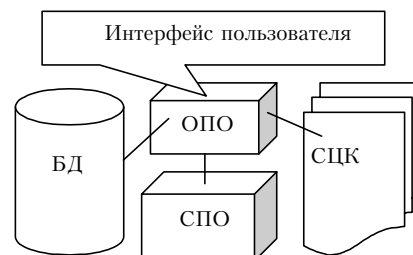


Рис. 1. Обобщенная структура ГИС: БД – база данных; ОПО – общее программное обеспечение ГИС; СПО – специальное программное обеспечение; СЦК – система цифровых карт

В общее программное обеспечение входят программные комплексы (блоки) ввода и редактирования цифровых, текстовых и графических данных, преобразования данных из различных форматов в формат ГИС, формирования и управления базами табличных и графических данных, проведения различных модельных расчетов, визуализации графического материала и др. В составе общего программного обеспечения ГИС, как правило, используются средства одной из геоинформационных систем, позволяющей отображать интересующую пользователя информацию или результат ее обработки в наиболее удобном для пользователя виде относительно некоторых пространственных координат [10]. Нами в качестве общего программного обеспечения ГИС используются наиболее популярная в мире векторная система ARC/INFO и ее реализация в виде настольной ПС ГИС ArcViewGIS [11–13], которая имеет в своем составе встроенные средства управления базой данных (СУБД) и поддерживает формат данных, совместимый с dBASE IV.

Специальное программное обеспечение в данной геоинформационной системе предназначено для задач ввода и обработки информации с применением средств ГИС, для задач моделирования, комплексного анализа и прогноза природных и техногенных воздействий на природную среду и других прикладных задач. Поэтому в состав СПО включаются программные средства моделирования процессов функционирования объекта исследований и процессов воздействия на него со стороны других объектов окружающей среды, вовлеченных человеком в процесс природопользования. Это могут быть вычислительные процедуры и модули как встроенные, так и работающие независимо, но имеющие определенные задачи мониторинга начальные и граничные условия, программы математического моделирования [17]. Во втором случае необходимые для дальнейшего использования результаты передаются посредством Интернет-технологий через интерфейс пользователя ГИС. Кроме того, в задачах мониторинга территориальных комплексов важная роль в составе СПО отводится программным средствам комплексного анализа многомерных данных, использующих методы кластеризации данных, статистические методы, в частности корреляционного, факторного и частотного анализа. Входящие в состав СПО прикладные модули и программы обработки

данных, а также результаты численного моделирования включаются в среду ГИС с помощью языка Avenue для ArcViewGIS [13].

1.2. Разработка структуры баз данных и прикладных программ

При разработке геоинформационных систем и ГИС-технологий, ориентированных на решение комплексных проблем природопользования и окружающей среды региона, важным является этап концептуального анализа [14] предметной области и проблемной среды ГИС. Под предметной областью (ПО) понимается совокупность объектов, предметов и явлений реального мира, информация о которых накапливается и хранится в базах данных и базах знаний ГИС. Под проблемной средой (ПС) понимается взаимосвязанная совокупность задач, на решение которых ориентирована данная ГИС. Согласно методологии [14] результатом концептуального анализа ПС и ПО будут соответственно дерево задач с выделением подзадач и иерархическая модульная структура баз данных (рис. 2).

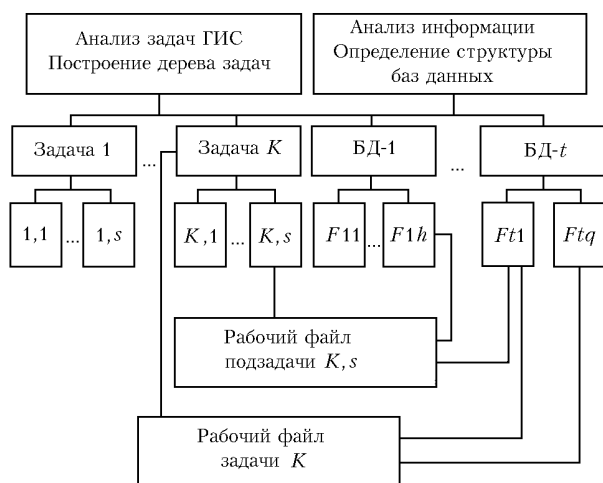


Рис. 2. Схема формирования дерева задач, структуры баз данных и рабочих файлов для решения задач: БД- i – база данных; K, s – s -я подзадача K -й задачи; $F_{i,j}$ – j -й файл i -й базы данных

На основе анализа описания предметной области определяются перечень основных составных ее частей и совокупность связей, существенных с точки зрения решения задач пользователей. При этом кроме логических отношений типов «целое–часть» и «род–вид» вводится третий тип логических отношений – ассоциативные отношения, учитывающие связи между характеристиками (свойствами) ПО, совместное использование информации о которых необходимо для решения каждой частной задачи пользователя. Рабочие файлы задач (подзадач), включающие перечни показателей, необходимых для решения каждой задачи (подзадачи), формируются из файлов $F_{i,j}$, $i = 1, \dots, t; j = 1, \dots, m$.

Отметим особенность концептуального анализа ПС, целью которого является построение дерева задач: декомпозиция задач проводится до уровня, на котором выделяются элементарные подзадачи. Элементарной будем называть подзадачу, которой соответствует компьютерная программа, реализующая законченную элементарную процедуру обработки ограниченной совокупности простых файлов (двумерных таблиц данных). Каждый уровень принятия решений в соответствии с деревом задач имеет и свой уровень картографирования, что предполагает формирование картографической базы данных ГИС как модульной иерархической системы.

2. Разработка ГИС-технологий решения задач климато-экологического мониторинга

2.1. Процедуры построения моделей объектов мониторинга

Существующие геоинформационные технологии, ориентированные, как правило, на обработку, хранение и использование больших массивов данных, связаны с картографированием территорий и с организацией и управлением большими разнородными базами данных экологической (природно-ресурсной и природоохранной) направленности. Разработка технологий, направленных на решение задач анализа, диагноза и прогноза климато-экологического состояния региона, осложняется тем обстоятельством, что такая информация получается в ограниченном числе пунктов территории Сибири и возникает дефицит эмпирической информации для «обучения» моделей (количественного определения параметров моделей). Чтобы избежать указанных трудностей, в основу разрабатываемой нами ГИС-технологии моделирования положена идея использования агрегированных имитационных моделей, предложенная в работах [14, 15] (рис. 3).

Заметим, что концептуальный анализ предметной области направлен на построение модели ПО, являющейся обобщенным представлением о предметной области с учетом информационных требований конечных пользователей. А так как требования пользователей формируются на основе анализа совокупности прикладных задач, то этапы разработки концептуальной модели предметной области объекта мониторинга и формулировка и анализ прикладной задачи совмещены во времени.

Отметим также, что на основе анализа прикладных задач не только выявляются существенные концепты (понятия) – объекты ПО и связи между ними, – но и определяются основные, существенные с точки зрения задач пользователей, характеристики предметной области как объекта моделирования. Выявление этих характеристик позволяет рационализировать процедуры организации имитационного эксперимента с моделью и процедуры сбора, обработки и подготовки информации для «обучения» модели на имеющейся

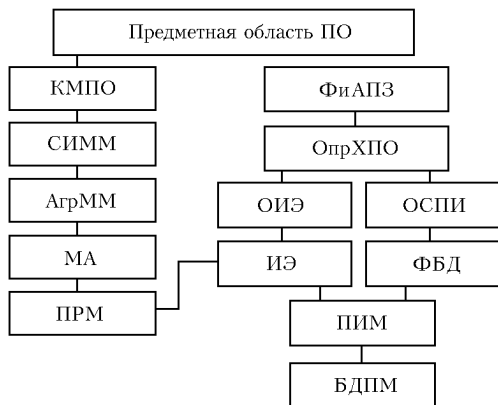


Рис. 3. Обобщенная схема ГИС-технологии построения модели объекта мониторинга: ОМ – объект мониторинга; ПО – предметная область (природно-хозяйственный комплекс территории как объект моделирования ОМ); КМПО – концептуальная модель предметной области; СИММ – структурная идентификация математической модели; АгрММ – агрегирование математической модели; МА – моделирующий алгоритм; ПРМ – программно реализованная модель; ФиАПЗ – формулирование и анализ прикладной задачи; ОпрХПО – определение характеристик ПО; ИЭ – имитационный эксперимент; ОИЭ – организация имитационного эксперимента с агрегированной моделью; ОСПИ – организация сбора и подготовки информации об ОМ; ФБД – формирование баз данных о характеристиках ОМ; ПИМ – параметрическая идентификация модели; БДПМ – база данных о параметрах модели

эмпирической информации. Также важными с точки зрения построения математической модели являются вопросы структурной идентификации модели, агрегирования модели, разработки моделирующего алгоритма и программно-реализованной модели. Целями структурной идентификации имитационной модели являются следующие:

- установление графовой структуры имитационной модели;
- определение вида математических уравнений модели и (или) логической структуры алгоритмов в составе модели;
- определение совокупности параметров модели.

Как показал анализ, традиционные методы построения моделей, основанные на декомпозиции объекта моделирования, требуют для их описания большого числа параметров модели. Именно это не позволяет реализовать идею «обучения» модели на доступном объеме эмпирических данных (как правило, объем таких данных для систем рассматриваемого класса крайне ограничен). В связи с этим в решении интересующих нас задач должна использоваться заключенная в концептуальной модели структурная информация не непосредственно в виде схемы декомпозиции предметной области по составу и свойствам, а в виде преобразованной (агрегированной) модели, позволяющей существенно уменьшить число параметров модели. Цель агрегирования модели – поиск такой ее структуры, которая допускает адекватное описание объекта с помощью минимального числа параметров модели. Это предполагает необходимые пре-

образования как структуры модели, так и вида уравнений с целью получения минимальной совокупности параметров модели. Требование минимизации числа параметров имитационной модели обусловлено необходимостью оценивания параметров этой модели по эмпирическим данным в условиях дефицита эмпирической информации о характеристиках объекта моделирования. Таким образом, агрегирование имитационных моделей предполагает снижение размерности множества параметров модели путем преобразования структуры модели.

Предлагаемая процедура построения агрегированных моделей основана, во-первых, на использовании качественной информации, извлекаемой из результатов теоретического анализа свойств частей объекта моделирования, выделенных путем декомпозиции объекта, и, во-вторых, на использовании количественной эмпирической информации, отображаемой в виде карт и материалов статистики и получаемой путем натурных экспериментов и наблюдений. Следовательно, в соответствии с вышеизложенным при композиции («сборке») агрегированной модели ее минимальная структура определяется на основе учета наиболее существенных свойств и взаимодействий между составными элементами, которые отображаются в модели заданием совокупности абстрактных параметров модели, оценивание которых возможно лишь на основе эмпирических данных.

Особую важность в построении модели приобретают вопросы параметрической идентификации моделей. Целью идентификации является оценивание параметров модели на основе эмпирических данных.

Традиционные методы идентификации динамических объектов, используемые в технической кибернетике, основаны на получении избыточной информации об объекте путем многократных повторений опыта при различных начальных условиях, внешних воздействиях и значениях случайных факторов с целью достижения указанной избыточности информации относительно искомого параметров модели. Эта избыточность в процессе получения оценок параметров модели (идентификации) устраняется путем обработки полученных опытных данных вероятностными методами в зависимости от особенностей статистики выборочных данных о характеристиках объекта. Предложенный подход к параметрической идентификации модели (в условиях дефицита эмпирических данных об объекте мониторинга) предполагает создание избыточности модельных данных и «подстройку» параметров модели под эмпирические данные.

2.2. Процедуры пространственного анализа данных

При обработке данных о состоянии окружающей среды и природных ресурсов использовались алгоритмы пространственного анализа данных в ГИС, основанные на традиционных статистических методах, например метод главных компонент, а также

алгоритмы компьютерного геозонирования территории [16], основанные на методах распознавания образов и автоматической классификации. При решении задачи геозонирования в нашей постановке, когда заранее не известны ни число классов, ни пороги разброса значений характеристик, использование известных алгоритмов автоматической классификации оказывается недостаточным. В связи с этим потребовалось разработать модифицированный алгоритм АК, в котором бы предусматривалось предварительное определение числа классов в зависимости от свойств классифицируемых участков территории (геоквантов), формулирование на его основе правила останова АК и последующее проведение АК на это число классов.

В основу разработки модифицированного алгоритма АК положена идея выявления естественного числа классов, которое может быть определено для каждой совокупности реальных объектов. Известно, что пространственная структура природных комплексов, изучаемых в географических, геологических, биологических и других родственных науках, обнаруживает характерные пространственные масштабы группирований этих объектов: крупномасштабные, мезомасштабные и мелкомасштабные структуры (например, в геологии структуры первого, второго и третьего порядков). При обработке информационных массивов, связанных с количественным описанием таких комплексов, классификация объектов будет приводить к выявлению достаточно устойчивой пространственной группировки объектов, слабо зависящей от изменения характеристик информационного массива. Такие устойчивые пространственные группы (кластеры) и будут основой для определения естественного числа классов, которое может быть положено в основу правила останова в модифицированном алгоритме АК (рис. 4).

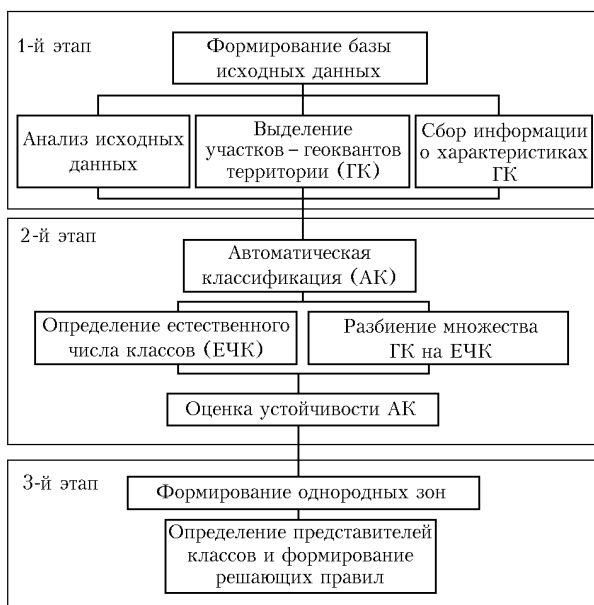


Рис. 4. Последовательность операций при выполнении процедуры геозонирования

Эта процедура позволяет проводить зонирование территории по произвольному набору разнородных признаков, что важно в задачах комплексного анализа состояния окружающей среды и природных ресурсов. *На первом этапе* процедуры геозонирования проводится формирование файлов исходных данных, в которых накапливается информация о значениях характеристик выделенных элементарных участков территории – геоквантов. *На втором этапе* выполняется автоматическая классификация геоквантов, т.е. разбиение множества участков – геоквантов на классы по сформированному ранее набору значений их характеристик. Оценивается степень статистической устойчивости классификации по отношению к точности измерения характеристик геоквантов. *На заключительном этапе* проводится группирование геоквантов, попавших в одинаковые классы по степени их пространственной близости (связности), в однородные зоны, формулируются решающие правила и формируются описания представителей каждой зоны.

3. База данных

Информация, поставляемая в базы данных ГИС, в общем случае является результатом работы мультидисциплинарного коллектива исследователей из большого числа научных организаций, а также из учреждений и органов федерального и территориального управления, поэтому база данных имеет модульную структуру и может быть пространственно распределенной. Кроме собственно данных в базах данных должны накапливаться и описания поставляемой информации – метаданные. Поэтому для осуществления корректного доступа к информации сформулированы следующие основные требования к формированию баз данных, позволяющие использовать БД для комплексного анализа:

1. Для ввода и хранения данных используются СУБД MS Access или dBASE VI с кодовой страницей Code Page 1251.

2. Каждая таблица базы данных должна иметь описание в виде специального набора метаданных с подробным описанием каждого поля.

3. База данных должна иметь структуру, позволяющую добавлять новые таблицы без изменения уже существующих таблиц и без нарушения логических связей между ними.

На рис. 5 представлена логическая структура базы данных, предназначенной для хранения мониторинговой информации, – *результаты наблюдения*. *Параметры наблюдения* – количественные и качественные показатели, характеризующие состояние объектов природной среды или климата в местах расположения *пунктов наблюдения* в определенные моменты времени.

Пункты наблюдения имеют определенное географическое положение и соответствующим образом привязываются к цифровой карте, а через них посредством отношений, заданных в базе данных, привязываются все другие значения из базы данных.

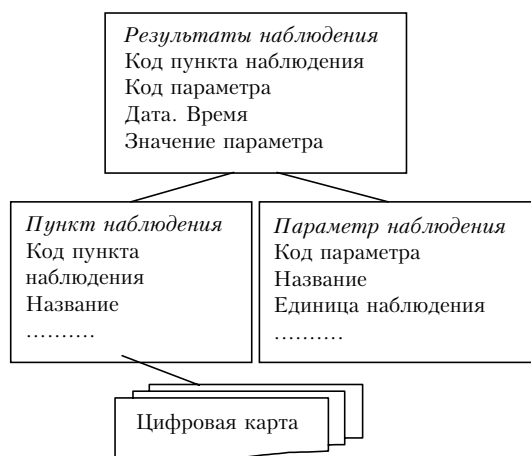


Рис. 5. Логическая структура базы данных

4. Система цифровых карт и использование космической информации при комплексном мониторинге окружающей среды

Так как использование разнородной природоресурсной и экологической информации для решения задач комплексного мониторинга требует учета ее пространственных свойств (административное, ландшафтное, видовое районирование, географическая «привязка» населенных пунктов, исследовательских стационаров, пунктов наблюдения и контроля загрязнений и др.), в ГИС представлены цифровые карты различных масштабов. Система цифровых карт включает топографическую основу и тематические слои. В качестве цифровой топографической основы используется лицензионная карта России масштаба 1:1000000 (производства Роскартографии), конвертированная из формата F1M в формат, воспринимаемый ГИС ArcView и имеющая базовые покрытия: гидрология, растительность, дороги, населенные пункты, грунты, рельеф, административные границы. Эта базовая топографическая основа постоянно дополняется нами новыми информационными слоями, необходимыми для решения задач комплексного мониторинга состояния окружающей среды и климата. На отдельные участки территории исследований, связанных с наличием крупных природных образований (например, Большое Васюганское болото, пойма реки Оби) или масштабным антропогенным воздействием на окружающую среду (например, нефте- и газодобывающие районы Западной Сибири) создаются цифровые карты более крупных масштабов. В настоящее время наиболее эффективным и перспективным средством пополнения системы цифровых карт для исследуемой территории является использование результатов аэрокосмических съемок земной поверхности с применением для их оцифровки и векторизации геоинформационных технологий. В частности, нами сформирован комплект космических снимков со спутника Ресурс-01 на различные участки зоны Большого Васю-

ганского болота и основные районы нефтедобычи в Томской области.

На рис. 6 приведена схема покрытия территории БВБ сканерными космическими снимками среднего и высокого разрешения на поверхности Земли (сканер МСУ-СК, разрешение 175 м; сканер МСУ-Э, разрешение 35–45 м).

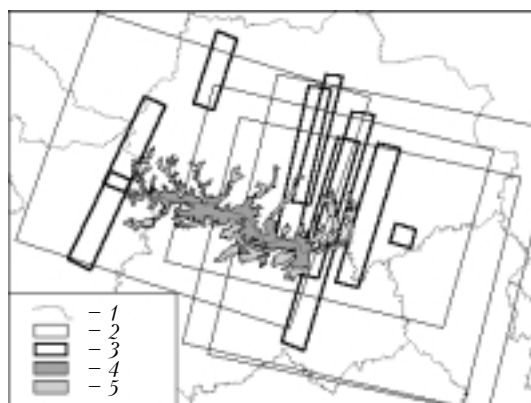


Рис. 6. Схема покрытия территории БВБ космическими снимками: 1 – административные границы; границы снимков; 2 – МСУ-СК; 3 – МСУ-Э; 4 – центральная часть БВБ; 5 – отроги БВБ

Поскольку основными на территории Западной Сибири являются лесоболотные экосистемы, комплексные исследования которых осложняются труднодоступностью их расположения, методически важным вопросом является корректное определение границ лесных и болотных выделов по космическим снимкам. Использование данных дистанционного зондирования позволит обновить имеющиеся данные (например, лесная таксация проводится один раз в десять лет), устранить ошибки ландшафтной интерпретации лесотаксационной информации, скорректировать набор признаков дешифрирования, определить приоритетные участки наземного обследования.

Идея использования космоснимков для определения лесных выделов разных пород основана на том, что при рассмотрении земли из космоса разные ландшафтные выделы имеют различную яркость. На космическом снимке яркость отображается цветом. Используя различия в цвете фрагментов космического снимка, можно выделить однородные зоны на земной поверхности, сгруппировав их по цвету. Используя трехзональные (две зоны в видимой части спектра и одна в инфракрасной области) космические снимки с пространственным разрешением около 40 м, полученные со спутника Ресурс-О, с применением средств ГИС и системы обработки изображений ERDAS Imagine [17], можно достаточно надежно выделять болотные и лесные выделы с различными породами леса.

Например, успешно реализуемая нами с применением ГИС-технологий процедура обработки цифровых космических снимков территории Большого Васюганского болота включает в себя следующие этапы:

Определение участка территории, на котором будет производиться распознавание ландшафтных выделов (лесные, болотные, смешанные).

Выбор снимка, частично или полностью покрывающего исследуемую площадь.

Проведение «привязки» данного снимка к цифровой карте средствами программного обеспечения системы обработки изображений ERDAS Imagine.

Кластеризация изображения (примерно по 30 – 70 признакам; количество признаков подбирается таким образом, чтобы разные ландшафтные выделы не попали в один класс).

Проведение средствами системы ERDAS Imagine «окрашивания» выделенных зон на снимке в цвета, соответствующие определенным породам деревьев.

Система ERDAS Imagine служит для «привязки» спутникового изображения к карте, кластеризации изображения и распознавания выделов, ГИС используется для векторизации спутникового изображения после распознавания ландшафтных выделов и картографического отображения результатов обработки космической информации. На этапе кластеризации прежде всего выявляется преобладающая порода деревьев на рассматриваемом участке территории, которая выбирается в качестве основной в процессе распознавания ландшафтных выделов.

5. О комплексе математических моделей

Решение задач комплексного мониторинга сложного природного объекта невозможно без формирования в составе геоинформационного обеспечения комплекса прикладных программ моделирования процессов функционирования объекта мониторинга [18]. Так, при анализе техногенных воздействий на состояние лесоболотных экосистем необходимо в составе специального программного обеспечения сформировать комплекс для моделирования распространения антропогенного загрязнения в почве, водной и воздушной среде, возникающего в результате хозяйственной деятельности на территории объекта мониторинга. Известно, что на территории БВБ имеются запасы нефти и газа, торфа и древесины, подземных и поверхностных вод. Поэтому в процессе исследований объекта важную роль должны играть математические модели, позволяющие решать задачи оценки техногенных воздействий, связанных с возможным использованием природных ресурсов, в частности торфяного или углеводородного сырья.

Наиболее существенное воздействие на состояние природных экосистем оказывает добыча нефти. Анализ состояния окружающей среды на территориях деятельности нефтегазового комплекса показывает [22, 23], что факторы воздействия нефтедобычи на природную среду можно разделить на три основные группы. К первой группе относятся механические воздействия, нарушающие поверхность и изменяющие гидрологический режим, например в результате строительства

дорог. Ко второй группе относятся геодинамические воздействия, возникающие из-за изменений пластового давления в результате извлечения из недр больших объемов нефти и газа и приводящие к геоморфологическим изменениям. Однако в условиях нефтедобывающих территорий юга Западной Сибири наибольшую опасность для природной среды представляют факторы третьей группы, связанные с химическим загрязнением почв, водоемов и атмосферного воздуха. При этом наиболее существенным фактором экологического воздействия рассматривается загрязнение атмосферы в результате сжигания попутного газа в разбросанных по всей территории Западно-Сибирской нефтегазодобывающей провинции факельных установках, вокруг которых формируются обширные шлейфы аэрозольного загрязнения. Их негативное воздействие усиливается мелкодисперсными продуктами неполного сгорания, обладающими токсическими свойствами, и выбрасываемой в больших объемах сажей.

В [19] изложены вопросы разработки, методологии и организации эколого-географических исследований на примере воздействия химического загрязнения атмосферы на лесоболотные экосистемы нефтедобывающих районов Западной Сибири. Суть предложенного комплексного подхода к оценке воздействия нефтедобычи на природную среду сводится к определению с использованием геоинформационных систем размеров площадей ландшафтных выделов, находящихся под воздействием негативных техногенных факторов, что позволяет выявить находящиеся в критическом состоянии компоненты природной среды. На основе этой методологии создан комплекс программ геоинформационного моделирования распространения загрязняющих химических веществ в атмосфере, позволяющий проводить совместный пространственный анализ ландшафтной структуры территории и результатов моделирования загрязнения среды с использованием цифровых карт [20, 21]. Это упрощает процедуры экологического прогнозирования и позволяет решать сложные задачи оценки комплексных воздействий на окружающую среду, оперативно выявлять намечающиеся аномалии и принимать решения по их устранению. С использованием этого комплекса моделирования проведен анализ воздействия загрязнения атмосферы на конкретной территории, ландшафтная структура которой подобна структуре территории БВБ [22–24].

Важным для решения гидрологических и гидрохимических задач мониторинга БВБ представляется разработка программного комплекса геоинформационного моделирования речной сети, который включает в себя систему цифровых карт, имеющих следующие тематические слои: гидрография (реки, озера, родники и др.), рельеф, пункты наблюдения за состоянием водных объектов. Необходимая для моделирования гидрологическая и гидрохимическая информация о расходе воды, скорости течения и концентрации загрязняющих веществ в пунктах наблюдения содержится в базе данных ГИС. Комплекс математических моделей включает следующие компоненты: модель

речной сети в виде направленного графа, модель переноса загрязняющих веществ водными потоками в виде системы дифференциальных уравнений в частных производных, модель деструкции и трансформации загрязняющих веществ в естественных условиях.

Модель речной сети строится на основе цифровой карты путем преобразования слоев гидрографии в направленный граф [25], на основе которого формируется система линейных алгебраических уравнений баланса водных потоков в узлах сети. Для учета распространения загрязняющих веществ в речной сети система уравнений дополнена линейными алгебраическими уравнениями, описывающими концентрации загрязняющих веществ в водных потоках. Так как под действием природных факторов (биодеструкция, ультрафиолетовое излучение) загрязняющие вещества подвергаются деструкции и трансформации, используется модель деструкции веществ в виде экспоненциального уравнения.

Заключение

Данная статья является обобщением результатов научных исследований и опыта коллективной работы исследователей и разработчиков в рамках Томского регионального ГИС-центра СО РАН по использованию геоинформационных технологий в вопросах мониторинга окружающей среды и климата крупных территориальных комплексов, а также сценарного прогноза развития регионов. Дальнейшее развитие этих работ происходит в рамках расширяющегося международного сотрудничества по выполнению программ Европейского Союза: ИНКО Коперникус-2 и ИНТАС в части реализации проектов формирования интегрированных информационно-измерительных систем мониторинга и управления состоянием окружающей среды.

Главными направлениями расширения описанной выше геоинформационной системы являются:

европейские разработки соответствующих экспертных систем последнего поколения и современные методы инструментальных измерений [26];

формирование совокупности баз данных идентичной структуры пространственно распределенных по серверам разных организаций, а также организация авторизованного доступа пользователей к полученным результатам посредством информационного Web-портала на основе набора распределенных WWW-сайтов [27].

Другое планируемое перспективное направление в развитии ГИС-технологий следует из задач мониторинга глобальных и региональных природно-климатических изменений. При этом информационная база наполняется не только параметрами, характеризующими некоторое состояние природно-климатических систем, но и динамическими характеристиками климатообразующих процессов. В свою очередь, указанные процессы также претерпевают изменения под воздействием природных и антропогенных факторов. Геоинформационные процедуры по работе с такими

базами данных существенно отличаются и относятся к классу так называемых темпоральных геоинформационных технологий [28]. Развитие ГИС-технологий в этом направлении пока реализуется специальными вычислительными модулями в блоке специального программного обеспечения.

Авторы выражают благодарность члену-корреспонденту РАН М.В. Кабанову за полезные обсуждения и замечания по рукописи статьи.

Работа выполнена при поддержке Программы ЕС ИНКО Коперникус-2 (проект ИСИРЕММ, контракт ISA2-СТ-2000-10024).

1. *Коптюг В.А.* Химия и устойчивое развитие. Состояние и перспективы после конференции ООН по окружающей среде и развитию // Химия в интересах устойчивого развития. 1993. № 1. С. 309–315.
2. *Коптюг В.А.* Наука спасет человечество. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1997. 343 с.
3. *Задде Г.О., Катаев С.Г., Кусков А.И.* Региональные климатические изменения метеорологических полей // Региональный мониторинг атмосферы. Часть 4. Природно-климатические изменения / Под общей редакцией М.В. Кабанова. Томск: МГП «Раско», 2000. С. 11–56.
4. *Кабанов М.В., Крутиков В.А.* Междисциплинарный проект комплексного исследования Большого Васюганского болота // Труды международной конференции «Измерения, моделирование и информационные системы как средства реабилитации окружающей среды на городском и региональном уровне». Томск: ИОА СО РАН, 2000. С. 93–101.
5. *Зуев В.Е., Комаров В.С., Калинин А.Н., Михайлов С.А.* Геоинформационный подход к созданию автоматизированных систем регионально-локального мониторинга атмосферных загрязнений // Оптика атмосф. и океана. 1994. Т. 2. № 2. С. 132–145.
6. *Комаров В.С., Ременсон В.А.* Глобально-региональные статистические модели атмосферы для информационного обеспечения космических систем наблюдений // Оптика атмосф. и океана. 1995. Т. 8. № 8. С. 741–750.
7. *Гарелик И.С.* Географические информационные системы // Итоги науки и техники. Сер. Исследование земли из космоса. М.: ВИНТИ, 1989. Т. 3. С. 1–80.
8. *Берлянт А.М., Кошкарев А.В., Тикунов В.С.* Картография и геоинформатика // Итоги науки и техники. Сер. Картография. М.: ВИНТИ, 1991. Т. 14. С. 1–179.
9. *Баранов Ю.Б., Берлянт А.М., Капралов Е.Г., Кошкарев А.В., Серпинас Б.Б., Филитов Ю.А.* Геоинформатика: Толковый словарь основных терминов. М.: ГИС-Ассоциация, 1999. 204 с.
10. *Китов А.Д.* Компьютерный анализ и синтез геоизображений. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. 220 с.
11. *Изучение ГИС.* Методология ARC/INFO. ESRI, 1996. 300 с.
12. *ArcView GIS.* Руководство пользователя. ESRI, 1996. 300 с.
13. *Avenue.* Руководство пользователя. ESRI, 1996. 300 с.
14. *Полищук Ю.М.* Имитационно-лингвистическое моделирование систем с природными компонентами. Новосибирск: Наука, 1992. 229 с.
15. *Полищук Ю.М., Силич В.А., Татарников В.А., Ходашинский И.А., Цитилева Т.А.* Региональные экологические информационно-моделирующие системы. Новосибирск: Наука, 1993. 192 с.
16. *Полищук Ю.М., Цитилева Т.А.* Геоинформационное обеспечение регионального мониторинга атмосферы //

- Региональный мониторинг атмосферы. Часть 2. Новые приборы и методики измерений / Под общей редакцией М.В. Кабанова. Томск: Изд-во СО РАН, 1997. С. 254–290.
17. ERDAS IMAGINE Tour Guides. Atlanta: ERDAS, 1977. 453 p.
 18. Пененко В.В., Алоян А.Е. Модели и методы для задач охраны окружающей среды. Новосибирск: Наука, 1985. 254 с.
 19. Полищук Ю.М., Березин А.Е., Дюкарев А.Г., Козин Е.С., Токарева О.С. Геоинформационное обеспечение регионального экологического мониторинга // Проблемы региональной экологии. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. Вып. 8. С. 209–213.
 20. Полищук Ю.М., Чернушкин Р.А. Программа разделения территории на однородные зоны. Зарегистрирована в Роспатенте. Свид. № 2001610919 от 30.07.2001 г.
 21. Полищук Ю.М., Рюхко В.В. Программа «Система определения зон атмосферного загрязнения». Зарегистрирована в Роспатенте. Свид. № 2001610920 от 30.07.2001 г.
 22. Полищук Ю.М., Токарева О.С. Анализ воздействия загрязнений атмосферы на лесоболотные экосистемы в нефтедобывающих районах Сибири // Оптика атмосф. и океана. 2000. Т. 13. № 10. С. 950–953.
 23. Полищук Ю.М., Березин А.Е., Дюкарев А.Г., Токарева О.С. Экологическое прогнозирование воздействий нефтегазового комплекса на природную среду Западной Сибири с использованием ГИС-технологий // Геогр. и природ. ресурсы. 2001. № 2. С. 43–49.
 24. Крутиков В.А., Полищук Ю.М., Козин Е.С., Токарева О.С. Геоинформационное обеспечение комплексного мониторинга окружающей среды // Труды 4-го Сибирского совещания по климато-экологическому мониторингу. Томск: Изд-во ТНЦ СО РАН, 2001. С. 69–70.
 25. Козин Е.С., Полищук Ю.М. Моделирование процессов загрязнения речных бассейнов с применением ГИС // Вычислительные технологии. 2000. Т. 5. № 1. С. 29–36.
 26. EC INCO Copernicus 2. Contract ICA2-CT-2000-10024. Project ISIREMM: Integrated System for Intelligent Regional Environmental Monitoring&Management.
 27. INTAS 00-00189 ATMOS: A Scientific WWW Portal for the Atmospheric Environment.
 28. Кабанов М.В., Комаров В.С., Шишлов В.И. Проблемы анализа и моделирования региональных природно-климатических изменений // Региональный мониторинг атмосферы. Часть 4. Природно-климатические изменения / Под общей редакцией М.В. Кабанова. Томск: МГП «Раско», 2000. С. 200–255.

V.A. Krutikov and Yu.M. Polishchuk. Geoinformation provision for environmental and climatic monitoring.

The content and structure of geoinformation provision for environmental and climatic monitoring are determined. The requirements are imposed on creation of a database that allows one to compile dissimilar information obtained as a result of interdisciplinary investigations of the object under study. The geoinformation system modular structure and the database are determined. The software contents and the systems of main and thematic digital maps for the territories under study are also considered. Processing of satellite photographs, creation of applied codes for simulation in the context of geoinformation package for complex monitoring, and using the results of numerical simulation are discussed as well.