

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ИНСТИТУТ ГЕОГРАФИИ

Направления рукописи

ВЛАДИМИРОВ ИГОРЬ НИКОЛАЕВИЧ

**ДИНАМИКА ТАЕЖНЫХ ГЕОСИСТЕМ ПРЕДБАЙКАЛЬЯ:
МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ**

25.00.23 - физическая география и биогеография, география почв и
геохимия ландшафтов



АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Иркутск - 2004

**Работа выполнена в Институте географии Сибирского отделения
Российской академии наук**

- Научный руководитель** доктор географических наук
Черкашин Александр Константинович
- Официальные оппоненты** доктор географических наук, профессор
Иметхенов Анатолий Борисович
- кандидат географических наук
Суворов Евгений Григорьевич
- Ведущая организация** Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН,
г. Красноярск


Защита состоится 30 ноября 2004 г. в 13 ч. на заседании Диссертационного совета Д-003.010.01 при Институте географии СО РАН по адресу: 664033, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1, тел/fax. (3952) 42-27-17.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института географии СО РАН.

Отзывы в двух экземплярах, заверенные печатью учреждения, просим отправлять по указанному адресу ученому секретарю совета.

Автореферат разослан 30 октября 2004 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат географических наук



Рыжов Ю.В.

2005-4
19024

907600

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

К числу основных задач учения о геосистемах В.Б. Сочава (1978) относил моделирование геосистем с учетом их спонтанной и антропогенной динамики и соответствующих им природных режимов, поиск рациональных приемов количественной оценки геосистем и ландшафтообразующих процессов, познание пространственно-временных закономерностей и анализ состояний геосистем.

В связи с этим актуальным остается решение задачи изучения и моделирования динамики таежных геосистем, в частности, ландшафтов Предбайкалья, которые характеризуются уникальными и контрастными природными условиями, разнообразным и активным антропогенным воздействием на геосистемы.

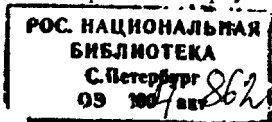
Современное моделирование основано на совместном использовании натуральных исследований и геоинформационных технологий, способствующих эффективному решению научных и прикладных задач оценки и контроля состояния геосистем, и математических моделей прогнозирования динамики геосистем, описывающих фундаментальные закономерности смены состояний таежных лесов с учетом местных особенностей природной среды. По причине продолжительности восстановительно-возрастной динамики тайги математические модели становятся необходимым инструментом для исследования и прогнозирования долговременных естественных и антропогенных изменений геосистем.

Цели исследования - системное изучение факторов, условий, закономерностей динамики таежных геосистем, их внутренних и внешних связей, совершенствование информационного основы и развитие математических методов моделирования геосистем с учетом особенностей их местоположения, разработка методов прогнозно-динамического картографирования таежных геосистем на различных уровнях организации.

Для достижения поставленной цели потребовалось решить следующие задачи.

1. Провести анализ методов исследования и моделирования компонентов геосистем как динамических систем.
2. Разработать методы оценки параметров математических моделей прогнозирования динамики геосистем применительно к конкретным географическим местоположениям.
3. Реализовать методику автоматизированного выделения границ геосистем по временным сериям космических снимков.
4. Создать геоинформационную систему оценки состояния и прогноза динамики таежных геосистем Предбайкалья.
5. Разработать методику прогнозно-динамического картографирования лесов на различных уровнях организации геосистем.

Объект исследования - таежные ландшафты Предбайкалья разной степени антропогенной нарушенности. Натурные работы проводились в Слюдянском, Иркутском, Ольхонском и Усть-Илимском районах Иркутской



области. В качестве модельной территории выбраны ландшафты Усть-Илимского района. **Предмет исследования** — структура и динамика геосистем.

Исходные материалы. Для территории Предбайкалья использовались космические снимки высокого (Ресурс-Ф2М (МК-4), Terra (Aster), Landsat (TM, ETM+)) и низкого пространственного разрешения (NOAA/AVHRR), топографические карты М1:100 000, 1:200 000 (бумажный и электронный варианты), данные государственного учета лесного фонда лесхозов Иркутской области, лесотаксационные материалы по Усть-Илимскому району, материалы маршрутных исследований, литературные источники и тематические карты различного содержания.

Методы исследования. Исследования выполнены с использованием методов натуральных физико-географических исследований, математического, компьютерного и геоинформационного моделирования, статистического анализа данных, визуального и автоматизированного дешифрирования космических снимков.

Теоретической основой и руководящими принципами данной работы стали идеи, изложенные в учении о геосистемах В.Б. Сочавы и экспериментальном ландшафтоведении А.А. Крауклиса, теоретические представления о методах дистанционного зондирования Б.В. Виноградова, А.Д. Китова, А.К. Черкашина, методология полисистемного моделирования А.К. Черкашина, результаты Л.В. Попова по исследованию восстановительных рядов по генетическим типам леса, ландшафтный метод изучения лесов Д.М. Киреева, представления о роли пожаров в формировании лесов В.В. Фуряева.

Научная новизна.

1. Впервые разработана комплексная ГИС, отражающая ландшафты и состояние компонентов региональной системы Предбайкалья и их изменение под влиянием хозяйственной деятельности.

2. Проведен специальный анализ главных тенденций естественных и антропогенных изменений таежных лесов Иркутской области за 30-летний период, доказана адекватность результатов расчета по региональной математической модели лесных ресурсов наблюдаемым за этот период изменениям в лесном фонде.

3. Созданы основные блоки интегрированной ГИС, объединяющей оперативную космическую информацию, материалы текущей инвентаризации природных ресурсов, хозяйственные характеристики природопользования, ландшафтно-типологические карты разного масштаба и многоуровневую систему математических моделей.

4. Проведены расчеты показателей интенсивности динамических процессов в лесах Предбайкалья и доказано существование связи этих показателей с ландшафтной структурой территорий.

5. Проверена и обоснована адекватность моделей геосистемным процессам субрегионального и локального уровня и возможность их использования для решения задач прогнозирования динамики лесов.

6. Впервые разработана и реализована методика прогнозно-динамического картографирования лесов на различных уровнях организации геосистем на основе принципов геоинформационного моделирования и картографирования.

Практическое значение и внедрение.

Исследования выполнялись по научным темам Института географии СО РАН, в рамках проектов РФФИ № 99-05-64075, № 01-05-06226мас, № 02-05-65054, ROLL 116GR3ASC-98, ГЭФ IO10008-S3, Интеграционный проект СО РАН №67-2000, договор-контракта с Администрацией Иркутской области.

Полученные результаты переданы для практического использования в следующие организации: информационно-аналитический комитет администрации Иркутской области, Мэрия Слюдянского района Иркутской области, Иркутское управление лесами, Иркутский региональный Центр геоинформационных технологий, Центр космического мониторинга Института солнечно-земной физики СО РАН.

Защищаемые положения.

1. Геоинформационная система, объединяющая оперативную космическую информацию, материалы текущей инвентаризации природных ресурсов, хозяйственные характеристики природопользования, ландшафтно-типологические карты разного масштаба и систему математических моделей, становится информационной основой для проведения географических исследований, прогнозирования и планирования использования природных ресурсов на разных уровнях организации территории.

2. Коэффициенты динамических моделей однозначно определяются географическим местоположением, разновидностью условий среды, что позволяет параметризовать расчетные уравнения и получать достоверные прогнозы динамики биотической составляющей таежных геосистем.

3. Математические модели динамики геосистем, реализующиеся в комплексе с геоинформационными системами и системами географических знаний, — эффективное средство обработки космической и наземной информации для выявления скрытых закономерностей и прогнозно-динамического картографирования ландшафтов.

Личный вклад автора. Основные результаты исследования получены автором лично. В совместных работах автор был ведущим специалистом в разработке геоинформационного обеспечения моделирования, анализа и прогнозирования динамики таежных лесов, структуры базы данных ГИС лесных ресурсов, методов определения параметров моделей динамики геосистем, в проведении расчетов и экспедиционных работ. На разных этапах исследований часть работ проводилась совместно с к.т.н. Е.А. Черкашиным и А.К. Чудненко (Институт динамики систем и теории управления СО РАН) при создании компьютерных программ для прогнозно-анимационного картографирования динамики растительного покрова (раздел 5.4. - ими создано программное обеспечение); с С.А. Ташилиным, Н.А. Абушенко, А.В. Татарниковым и Д.А. Алтынцевым (Центр космического мониторинга Института солнечно-земной физики СО РАН) при разработке и создании ГИС мониторинга лесных пожаров на территории Иркутской области и прогнозирования динамики лесных

ресурсов (раздел 3.2.5 - ими разработаны компьютерные программы и создана квартальная сеть для ГИС).

Апробация работы. Основные положения и результаты исследования доложены и обсуждались на международных и всероссийских конференциях: научно-практической конференции "Вопросы охраны и изучения горных экосистем Байкальского региона" (Танхой, Республика Бурятия, 1999); XXXVIII международной научной студенческой конференции "Студент и научно-технический прогресс" (Новосибирск, 2000); международной конференции "Интеркарто 6: ГИС для устойчивого развития территорий" (Апатиты, 2000); всероссийской конференции "Экология ландшафта и планирование землепользования" (Иркутск, 2000); конференции "Дендрологические исследования в Байкальской Сибири" (Иркутск, 2000); презентации результатов ландшафтного планирования и экологического зонирования Байкальской природной территории в рамках российско-германского сотрудничества по реализации Федерального закона "Об охране озера Байкал", заданий Администрации Иркутской области и Министерства природных ресурсов Российской Федерации (Иркутск, 2001); XIV молодежной всероссийской научной конференции "Географические идеи и концепции как инструмент познания окружающего мира" (Иркутск, 2001); VII научном совещании по прикладной географии (Иркутск, 2001); международной конференции "Интеркарто 7: ГИС для устойчивого развития территорий" (Петропавловск-Камчатский, 2001); XI научном совещании географов Сибири и Дальнего Востока (Иркутск, 2001); всероссийской научно-методической конференции "Дистанционные исследования и картографирование структуры и динамики геосистем" (Иркутск, 2002); всероссийской конференции "Информационные технологии в энергетике, экономике, экологии" (Иркутск, 2002); Сибирской региональной ГИС-конференции (Иркутск, 2002); XI Международной конференции IBFRA (International Boreal Forest Research Association) "Boreal Forests and Environment: Local, Regional and Global Scales" (Красноярск, 2002); международной научной конференции "Природно-ресурсный потенциал Азиатской России и сопредельных стран: пути совершенствования использования" в рамках II Байкальского экономического форума (Иркутск, 2002); VII научной конференции по тематической картографии: "Картографическое и геоинформационное обеспечение управления региональным развитием" (Иркутск, 2002); XV конференции молодых географов Сибири и Дальнего Востока "География: новые методы и перспективы развития" (Иркутск, 2003); Всероссийской конференции "Дистанционное зондирование поверхности земли и атмосферы" (Иркутск, 2003); международной конференции "Интеркарто 9: ГИС для устойчивого развития территорий" (Новороссийск, Севастополь, 2003); Всероссийской конференции "Математические и информационные технологии в энергетике, экономике, экологии" (Иркутск, 2003); международной конференции "Закон Российской Федерации "Об охране озера Байкал» как фактор устойчивого развития Байкальского региона" (Иркутске, 2003); международной конференции "ИнтерКарто/ИнтерГИС 10: устойчивое развитие территорий:

геоинформационное обеспечение и практический опыт" (Владивосток, Чаньчунь (КНР), 2004).

Основное содержание исследований изложено в 27 публикациях, в том числе в 20 работах по теме диссертации.

Структура и объем работы.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и четырех приложений, имеет общий объем 221 страницу, содержит 56 рисунков, 16 таблиц. Список литературы включает 194 наименования.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Источником динамизма геосистем являются взаимоотношения между их компонентами, возникающие в процессе метаболизма, а так же в результате различного рода сукцессии (Сочава, 1980).

При изучении динамики геосистем, подобно всем комплексам, охватывают меньшее или большее (вплоть до полного) число компонентов (Арманд, 1975). Геосистемам приходится придавать функциональное значение, ограничивая их рассмотрением какого-либо процесса или группы процессов (Ретеюм, 1971).

Одним из способов исследования и моделирования геосистем является исследование одного компонента геосистемы в среде геосистемы (на фоне остальных компонентов). В большинстве случаев, таким компонентом выступает биота. Необходимо уточнить, что "...биота - сложный блок (или несколько блоков) геосистемы, во многих случаях ее критический компонент. Одновременно биота в пределах геосистемы образует и особую совокупность связей (биологически наиболее значимую), заключающую главнейшие факторы, воздействующие на ее структуру... По разным причинам - объективным и субъективным, говоря о биоте, мы часто имеем в виду преимущественно ее растительный ингредиент" (Сочава, 1980, с. 134). Большинство компонентов геосистем, в том числе и растительность, представляют собой подчиненные (по отношению ко всей геосистеме) открытые системы. Точнее, геосистема - это своеобразная комбинированная система с обратной связью, в которую биота входит на правах особого блока. Если представить себе взаимоотношения и функции блоков внутри геосистемы, имея в виду и обратные связи, то следует признать, что функциональная самостоятельность растительности по отношению ко всем другим компонентам проявляется с достаточной очевидностью. Растительность представляет едва ли не лучший индикатор флуктуации природных режимов и в этом отношении может использоваться в познавательных и практических целях (Сочава, 1980). Опыт показывает, что растительность играет очень большую и разностороннюю роль в динамике геосистем. (Крауклис, 1979; Сочава, 1980).

Геоинформационное обеспечение исследования и моделирования динамики геосистем. Возможности современных ГИС-технологий позволяют на единой основе интегрировать накопленные эколого-географические знания, разработанные ранее математические модели и методы решения задач

дешифрирования космических снимков для прогнозирования динамики таежных геосистем (Геоинформационная..., 2002; Владимиров, 2001; 2002). Особенностью создаваемой интегрированной ГИС (ИнтГИС) является многоуровневый подход, учитывающий иерархию геосистем, и индивидуальная привязка моделей к конкретным географическим условиям. ИнтГИС включает собственно многоуровневую ГИС текущей инвентаризации природных ресурсов, ландшафтно-типологическую карту, информацию о хозяйственных характеристиках природопользования, комплекс программ моделирования динамики таежных лесов, базу знаний, отражающую классификацию геосистем и лесорастительных условий. ИнтГИС обеспечивает хранение эколого-географической информации, преобразовывает ее в картографический вид, проводит прогнозные расчеты с учетом различных факторов воздействия на таежные геосистемы Предбайкалья. Основные созданные ГИС-составляющие: *ГИС состояния лесного фонда; ГИС квартальных итогов; ГИС выделенной информации; ГИС «Животные ресурсы Иркутской области»; ГИС мониторинга лесных пожаров и прогнозирования динамики лесных ресурсов; ГИС «Ландшафты Предбайкалья».*

Создание ИнтГИС оценки состояния и прогноза динамики биотического компонента геосистем Предбайкалья обеспечивает наглядное отображение пространственной и временной смены состояний биоты геосистем. ИнтГИС в своеобразной компьютерной форме отражает эколого-географическую систему знаний. Реализация заявленных функций подразумевает решение следующих задач: 1) создание адекватных методов статистической обработки наземных и космических данных; 2) разработка экспертных систем; 3) формирование многоуровневой системы моделей динамики геосистем и логических средств их создания; 4) создание функциональных моделей оценки коэффициентов динамических уравнений; 5) создание прогнозных карт динамики.

ИнтГИС позволяет в удобном виде визуализировать географическую информации, производить прогнозные расчеты и затем использовать полученные электронные карты для научного анализа, например, рассчитывать элементный состав в границах выделенной территории, изучать топологию пространства, закономерности его формирования, межкомпонентные связи, динамику и т.д. Применение ИнтГИС дает возможность более эффективно применять методы картографического моделирования средствами компьютерного анализа. Дополнительные возможности дают картографические анимации.

Функциональные возможности ИнтГИС со встроеными подсистемами моделирования и отображения информации формируют гибридную ГИС, реализующую идею прогнозного и интерпретационного картографирования. Прогнозное многоуровневое картографирование обеспечивает создание (отображение геосистем) и использование (исследование геосистем) карт для комплексного географического прогнозирования. При прогнозном картографировании оба метода находятся в тесном взаимодействии, что наиболее ярко проявляется в процессе математико-картографического моделирования. Интерпретационное картографирование основано на извлечении

новых знаний из классификационной позиции каждого выдела, например отнесение ландшафтной фации к восстановительному ряду конкретного типа леса позволяет судить о динамике и времени формирования лесных сообществ, о периодах доминирования определенных элементов леса, оказывающее эдификационное и регуляционное воздействие на внутриценотическую среду и биогеоценотические процессы. В этом случае использование ГИС-технологии дает возможность добиться высокой степени автоматизации картосоставления и получить необходимое количество прогнозных тематических карт.

В ходе разработки ИнтГИС были созданы электронные карты текущего состояния биоты в геосистемах Предбайкалья, ландшафтно-типологическая карта ключевого участка, методом прогнозного и интерпретационного картографирования - прогнозно-динамические карты типов леса на территорию ключевого участка в Усть-Илимском районе на период 50 и 100 лет, прогнозные анимационные карты динамики лесного фонда Иркутской области и лесных массивов участков лесосырьевой базы Усть-Илимского ЛПК (на период до 30 лет). ГИС остается открытой для внесения новой информации и сравнительного анализа ее в динамическом аспекте с использованием ландшафтных карт.

Отсюда следует первое положение защиты: геоинформационная система, объединяющая оперативную космическую информацию, материалы текущей инвентаризации природных ресурсов, хозяйственные характеристики природопользования, ландшафтно-типологические карты разного масштаба и систему математических моделей, становится информационной основой для проведения географических исследований, прогнозирования и планирования использования природных ресурсов на разных уровнях организации территории.

Оценка коэффициентов динамических моделей по характеристикам геосистем. Любая таежная геосистема раскрывается через систему временных и компонентных связей. Прежде всего, она наделена пространственной, например, фациальной, структурой. Каждая географическая фация определяет соответствующий интегральный природный режим (Сочава, 1978), который накладывается на компонентную структуру геосистем и внутреннее строение компонентов, порождая тем самым все многообразие свойственных таежным геосистемам динамических процессов. Для повышения точности моделирования динамики геосистем и их отдельных компонентов решается задача о соответствии основополагающих уравнений и коэффициентов моделей свойствам конкретных местоположений (фациальной структуре территории).

При исследовании и моделировании географических объектов для задания условий однозначности и выделения независимых переменных необходимо точно определить: 1) геометрические и топологические свойства системы, в которой протекает процесс (характеристика рельефа, фациальная структура и т.д.); 2) существенные для этого процесса характеристики объектов, образующих систему, и их зависимость от параметров состояния и динамических воздействий (например, площади лесонасаждений, коэффициенты интенсивности перехода из состояния в состояние и т.д.); 3) начальное или конечное состояние системы; 4)

условия на границах системы в течение процесса; 5) характеристики среды протекания процессов, отражающих природные режимы исследуемого пространства (Владимиров, 2003).

Соответствующие этому перечню размерные величины и их значения определяют условия однозначности географического процесса, выделяют единичное явление данного класса как географическую ситуацию. Величины, входящие в условия однозначности, задаются внешним образом по отношению к основным уравнениям, и поэтому являются независимыми переменными, множество которых однозначно определяет протекание конкретного процесса. Все остальные переменные, входящие в основные уравнения, являются зависимыми переменными (Владимиров, 2003).

Для проверки гипотезы соответствия коэффициентов интенсивности динамики лесов структуре таежных геосистем Предбайкалья использовались данные распределения площадей лесонасаждений по породам и классам возраста. Изменение структуры лесонасаждений с учетом смены пород представляется системой дифференциальных уравнений вида (Черкашин, 1984)

$$\frac{\partial S_i(t, \tau)}{\partial t} + \frac{\partial [p_i(t, \tau) S_i(t, \tau)]}{\partial \tau} = -\gamma_i(\tau) S_i(t, \tau) + I_i(t, \tau), \quad (1)$$

где $S_i(t, \tau)$ - площадь, покрытая лесонасаждениями с преобладанием i -й породы возраста τ в момент t ; $\gamma_i(\tau)$ - интенсивность перехода лесонасаждений с преобладанием i -й породы возраста τ в лесонасаждения других пород; $p_i(t, \tau)$ - вероятность того, что в лесонасаждениях с преобладанием i -й породы возраста τ в момент t не произойдет смены пород; $I_i(t, \tau)$ - суммарная скорость перехода лесонасаждений различного породного состава и возрастов в лесонасаждения i -й породы возраста τ в момент t .

Зависимыми переменными в модели являются площадь лесонасаждений (S_i) и темпы замещения лесов разных пород лесонасаждениями данного породного состава и возраста (I_i). Независимые переменные — это прежде всего константы p_i и γ_i , а также начальные $S_i(0, \tau) = S_{i0}(\tau)$ и граничные условия $S_i(\tau, 0) = \alpha_i^0 S_{i0}(\tau)$ решение (1). Вероятности p_i задаются внешним образом по отношению к основным переменным уравнений модели и однозначно определяют динамику лесонасаждений в конкретных физико-географических условиях, от которых зависит интенсивность и направленность смены пород в различных местоположениях.

С этой целью рассматривается стационарный процесс ($\partial S_i / \partial t = 0$) разрушения спелых и перестойных лесонасаждений, когда увеличение площадей за счет смены лесов с преобладанием других пород и возрастов отсутствует ($I_i = 0$):

$$\frac{\partial (p_i(\tau) S_i(\tau))}{\partial \tau} = -\gamma_i(\tau) S_i(\tau),$$

где $\gamma_i(\tau) = (1 - p_i) / \Delta \tau_i$. Предположив, что p_i не зависит от возраста, и сделав замену $n_i = \tau / \Delta \tau_i$, т.е. перейдя от возраста к классам возраста, получим

$\frac{\partial S_i(n_i)}{\partial n_i} = -k_i S_i(n_i), k_i = \frac{1 - p_i}{p_i}$. Решение этого дифференциального уравнения

находится при граничном условии $S_i(n_{oi}) = S_{oi}$:

$$S_i(n_i) = S_{oi} \exp(-k_i(n_i - n_{oi})), \quad (2)$$

где n_{oi} - класс возраста начала разрушения древостоев (возраст спелости).

Коэффициенты k_i и $\ln S_{oi}$ рассчитываются методами линейной регрессии по схеме, полученной из уравнения (2) после логарифмирования:

$$\ln S_i(n_i) = \ln S_{oi} - k_i(n_i - n_{oi}), \quad (3)$$

Расчет коэффициентов интенсивности разрушения перестойных лесов проводился для лесхозов Иркутской области. Если S_{oi} рассчитывать в долях от площади спелых и перестойных насаждений i -й породы, то значения коэффициентов уравнение (3) коррелированно

$$\ln S_{oi} + k_i n_{oi} = 6,46k_i + 10,03, R=0,93 \quad (4)$$

т.е. линейные зависимости (3) образуют линейную конгруэнцию с узлом в точке $n_i = 6,46, \ln S_{oi} = 10,03$ (рис.1). Уравнение (4) показывает, что процесс разрушения перестойных насаждений зависит только от одного показателя k_i , который характеризует конкретные лесорастительные условия, т.е. является индексом среды (гомотопическим параметром) относительно рассматриваемого процесса, на основании которого рассчитывается значение $p_i = \frac{1}{k_i + 1}$ показатель надежности

сохранения лесов, т.е. чем больше k_i , тем меньше доля площади, на которой в процессе восстановительно-возрастной динамики сохраняется лес данной породы.

Проверка динамических моделей на массовом материале изменения состояния лесного фонда Иркутской области продемонстрировал хорошее соответствие между расчетными и наблюдаемыми характеристиками лесов (Владимиров и др., 2001; 2003). Это позволяет проводить прогнозные расчеты изменения состояния тайги Предбайкалья при разных естественных режимах восстановления и разнообразных формах хозяйственного управления.

Прослеживается структурное подобие (гомология) распределения площадей лесов с преобладанием определенной породы на разных территориях (Владимиров, 2003). Этот эмпирический факт объясняется с позиции свойств математической модели восстановительно-возрастных смен. Он требует экспоненциальной зависимости относительной скорости смены пород от возраста, т.е. структурное подобие объясняется особенностью ускоренного течения времени в экосистемах. Это специфическое качество изменения коэффициентов динамических моделей должно учитываться при анализе данных и в прогнозных расчетах.

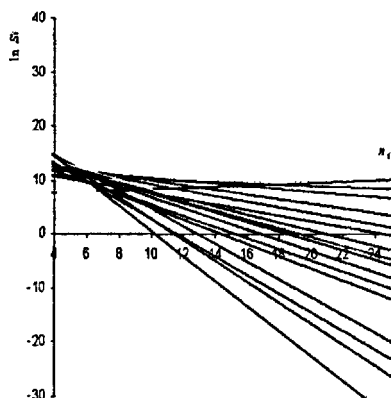


Рис.1. График зависимости площади перестойных лесов (S_i) от класса возраста (n_i) при разных k_i в полулогарифмическом масштабе

Гомотопический параметр k_i определяет степень сохранности (выживаемости) лесов в естественных и антропогенных условиях. Выживаемость таежных лесов с преобладанием конкретной породы определяется ландшафтной структурой территории - соотношением ареалов проявления условий разных геомов. В границах каждого геоба реализуется простейший вариант направленной, или флуктуирующей динамики (Михеев, Черкашин, 1987).

На сохранность лесов различных пород геоба влияют по-разному: меняется интенсивность и направленность влияния геомов. Анализ влияния проводился с использованием методов статистического и регрессионного анализа, основных положений теории надежности (Барлоу, Прошан, 1969), а также с применением ГИС-технологий при оценке площади геомов в границах лесхозов и административных районов.

Влияние площадей геомов (g_i) на выживаемость основных лесообразующих пород (P_i^*):

$$P^*_{\text{сосна}} = -17,01g_{17} + 20,73g_{18} - 9,87g_{19} + 2,67g_{20} - 0,57g_{29} + 0,21, R = 0,99$$

$$P^*_{\text{лиственнич}} = 0,02g_{15} + 1,04g_{16} - 3,31g_{31} + 0,37g_{32} + 0,13, R = 0,94$$

$$P^*_{\text{кедр}} = 1,22g_1 - 2,83g_2 + 1,88g_3 + 1,18g_5 + 1,22g_{11} + 1,09g_{14} + 3,84g_{16} - 0,09g_{30} - 1,56g_{31} - 0,41g_{32} + 0,13, R = 1,00$$

$$P^*_{\text{ель}} = 17,53g_{12} - 0,08g_{15} - 0,11g_{18} - 5,28g_{19} + 0,33g_{29} - 0,08g_{30} + 0,08, R = 0,99$$

$$P^*_{\text{лиственница}} = 0,99g_{10} - 10,73g_{12} + 0,27g_{15} - 0,27g_{18} - 0,47g_{19} + 0,15g_{21} + 0,04, R = 0,99$$

$$P^*_{\text{береза}} = -3,57g_{10} - 16,72g_{12} - 0,72g_{15} - 2,26g_{17} - 3,1g_{18} + 1,21g_{19} + 0,3, R = 0,99$$

$$P^*_{\text{осина}} = 0,45g_{18} - 1,1g_{19} - 3,31g_{31} - 1,89g_{28} + 0,05, R = 0,85,$$

где g_i — геомов: g_1 - Гольцовые альпийские; g_2 - Гольцовые тундровые; g_3 - Подгольцовые кустарниковые; g_5 - Подгольцовые темнохвойно-редколесные; g_{10} - Межгорных понижений и долин таежные лиственничные ограниченного развития; g_{11} - Горнотаежные лиственничные оптимального развития; g_{12} - Подгорные и межгорных понижений лиственнично-таежные оптимального развития; g_{14} - Горнотаежные темнохвойные редуцированного развития; g_{15} - Горнотаежные темнохвойные ограниченного развития; g_{16} - Подгорные и межгорных понижений таежные темнохвойные ограниченного развития; g_{17} - Подгорные и межгорных понижений таежные кедрово-лиственничные ограниченного развития; g_{18} - Горнотаежные темнохвойные оптимального развития; g_{19} - Подгорные и межгорных понижений таежные темнохвойные оптимального развития; g_{20} - Горнотаежные сосновые; g_{21} - Подгорные подтаежные сосновые; g_{28} - Среднетаежные лиственничные (на равнинах); g_{29} - Южнотаежные темнохвойные возвышенностей; g_{30} - Южнотаежные темнохвойные (на равнинах); g_{31} - Сосновые боровые равнин и долин олиготрофно-ксеро-мезофитного режима, g_{32} - Подтаежные (на приподнятых равнинах и плато) лиственничные и сосновые

Например, особенностью условий сохранения кедровников является наличие на территории альпийских ландшафтов высокогорий. На лесопокрытые территории других лесообразующих пород этот фактор не оказывает существенного влияния, но вступают в действие другие комплексы провинциальных условий. Поскольку характеристики, стоящие в правой и левой части уравнений получены независимым путем, этот естественный вывод

подтверждает правильность расчета и способность линейной схемы отражать причинно-следственные географические связи показателей динамических процессов и структуры ландшафтов.

Анализ линейной связи показателей выживаемости с ландшафтной структурой на уровне геомов показывает, что разные лесообразующие породы по-разному реагируют на специфику географических условий, что выражается не только в наборе значимых геомов, определяющих сохранность их лесов, но и в степени автономности существования этих лесов от фоновых ландшафтных условий. Наибольшей степенью автономности в Предбайкалье обладают березовые и сосновые леса, формируемыми эвритопными древесными видами. Наиболее зависимыми являются ельники и пихтарники, прочно связанные с местными условиями, особенно с наличием в регионе фаций подгорных и межгорных понижений. Знак их влияния на сохранность пихтовых и еловых лесов прямо противоположный.

Таким образом, обосновывается второе положение защиты: *коэффициенты динамических моделей однозначно определяются географическим местоположением, разнородностью условий среды, что позволяет параметризовать расчетные уравнения и получать достоверные прогнозы динамики биотической составляющей таежных геосистем.*

Обработка космической и наземной информации для прогнозно-динамического картографирования. Исследование динамики геосистем с использованием математических моделей, данных дистанционного зондирования и ГИС-технологий требует разработки общих принципов и подходов к исследованию и моделированию геосистем как динамических систем, создание на их основе многоуровневой системы моделей динамики геосистем с учетом ландшафтных особенностей территории.

Прогнозное картографирование - это картографическое моделирование конкретного пространства объектов, процессов и явлений (территорий), недоступных исследователю. Прогнозно-динамическое картографирование является сложным процессом и состоит из двух основных этапов: предпрогнозного и прогнозного (Киселев, 1985). Главными стадиями предпрогнозного этапа исследования являются: 1) формулирование цели исследования (в том числе выбор конкретного объекта картографирования и определение основного содержания будущих карт); 2) организация сбора и получения исходной информации (в том числе, данные дистанционного зондирования); 3) сбор и первичная обработка материала; 4) формирование баз данных; 5) создание многоуровневой ГИС текущего состояния компонентов геосистем. В прогножном этапе выделяются следующие стадии: 1) построение системы прогнозных моделей динамики; 2) определение коэффициентов моделей и ее начальных условий; 3) проверка адекватности работы моделей на примерах; 4) расчет и картографическая интерпретация прогнозных моделей (создание прогнозных карт с использованием ГИС) (Владимиров, Черкашин, 2001).

Удобным материалом для дистанционного изучения динамики геосистем и последующего прогнозно-динамического картографирования служит разновременная многозональная космическая съемка, которая отражает динамическую изменчивость геосистем — сезонную динамику естественной растительности, колебание увлажнения почв, что приводит к своеобразной "смене" ландшафтной структуры, фиксируемой на разновременных снимках. Космические снимки обладают также и уникальным свойством - скрадывать элементарные черты структуры ландшафтов фациального уровня и отражать однородность строения ландшафтов на более высоких уровнях, обеспечивая тем самым "игру масштабами" (Берлянт, Ушакова, 2000), генерализацию пространственно-распределенной информации.

Космические снимки рассматриваются как иерархически многоярусные модели-геоизображения ландшафтов (Владимиров, 2002; 2003). Космическая съемка обеспечивает получение снимков с регулярной повторностью разной периодичности (многолетней, разгодовой, сезонной, подсезонной, суточной и т.д.), что позволяет использовать снимки в качестве пространственно-временных структурно-динамических моделей.

Исследования и моделирование сезонных и фенологических особенностей динамики геосистем проводились с использованием разновременных данных дистанционного зондирования (с 1.05 по 22.09.2002), полученных со спутников NOAA 16, прибор AVHRR. Материалы дистанционного зондирования предоставлены ЦКМ ИСЗФ СО РАН, на участки Усть-Илимского и Чунского районов Иркутской области, на территории которых доминирует среднесибирский южно-таежный геом. Основанием для выбраковки снимков, не отвечающих динамическим тенденциям, явились облачность и дымка.

В серии разновременных снимков реализуется процесс перехода элементов (пикселей) геоизображений из одного состояния (яркости) в другое, которое описывается уравнениями динамики (Владимиров, 2003):

$$dN_i^*(t)/dt = a_i N_i(t),$$

где $N_i^*(t) = \sum_{i=0}^n N_i(t)$, $dN_i^*(t)/dt$ - темпы перехода пикселей изображения через условные границы между яркостными состояниями; $N_i(t)$ - количество элементов (в %) в i -ом состоянии ($i=0,1,\dots,n$ - яркостные х а р а к т е р и н $n=255$); a_i , - баланс интенсивности смены состояний в разных направлениях (в сторону уменьшения (-) и увеличения яркости (+)).

По серии разновременных снимков установлено, что в сезонной динамике величина a_i имеет постоянное значение для большинства характеристик яркости на интервале сравнения снимков, но закономерно изменяется в разных направлениях (в сторону уменьшения и увеличения яркости) внутри сезона, отражая темпы и направленность физико-географических процессов, фиксируемых на космических геоизображениях (сход снега, вегетация, отмирание и т.д.). Получены количественные оценки интенсивности этих процессов, которые являются нестационарными, разнонаправленными, самоорганизующимися динамическими процессами.

Относительное постоянство значения a_i определяет пропорциональность интенсивности природных процессов и структуры ландшафта N_i , наблюдаемой с помощью снимков, что доказывает адекватность реальным процессам уравнений флуктуирующей динамики, описывающих обратимый процесс перехода элементов геоизображений и соответствующих участков местности из одного состояния в другое. Это позволяет выявлять тенденции сезонной динамики ландшафтов, определять сезонные рубежи и формировать прогноз ее развития.

Для объективного выявления местоположений и их дальнейшей типизации на ключевой участок (Усть-Илимский район) была построена цифровая модель рельефа. На ее основе по результатам полевых наблюдений с использованием космической информации (снимки со спутников Terra/Aster, Landsat 5 TM и Landsat 7 ETM+) и результатов ее автоматической обработки (расчет нормализованного разностного вегетационного индекса NDVI и выделение границ биогеоценозов с использованием определителя Якоби) были выделены ареалы проявления 22 фаций, а также геотехнические системы и характер антропогенных трансформаций геосистем - антропогенно-измененные и антропогенно-нарушенные (рис.2).

Динамический аспект нашел свое отражение в легенде: после названия фаций в скобках указывается ее динамическое состояние: (К) — коренная, (МК) - мнимокоренная; (С) — серийная; (УД) — устойчиво длительно-производная, преобразованная (нарушенная), разной изменчивости.

В границах каждой фации реализуется вариант направленной или флуктуирующей динамики. От начала до конца направленный процесс протекает так, что все элементы участвующие в нем, достигают своего конечного состояния, соответствующего данной фации. При этом каждая из стадий динамики характеризует время формирования сообщества, в течение которого в его составе доминируют определенный лесообразователь или поколение древостоя. По результатам исследований было установлено, что различным фациям и восстановительным сериям ключевого участка соответствует определенные восстановительные ряды типа леса (Попов, 1982).

На основе данных о восстановительных рядах типа леса и их сопоставление с фациальной структурой, с использованием ландшафтной карты (см. рис.2), лесотаксационных материалов были созданы карты текущего состояния таежного ландшафта по типам леса (типам биогеоценозов) и прогнозно-динамические карты изменения пространственно-типологической структуры таежного ландшафта на период 50 и 100 лет (рис.3).



Рис. 2. Геосистемы ключевого участка

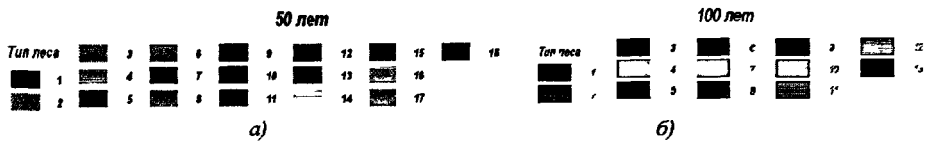


Рис. 3. Прогнозная карта динамики лесов на 50 (а) и 100 (б) лет.
1-17 - разные типы леса (переменные состояния фаций)

СИСТЕМАТИЧЕСКИЙ СПИСОК ГЕОСИСТЕМ РАЙОНА
ИССЛЕДОВАНИЙ

А. АРКТО-БОРЕАЛЬНЫЕ СЕВЕРОАЗИАТСКИЕ
А. СУББОРЕАЛЬНЫЕ РАВНИННО-ПЛОСКОГОРНЫЕ ТАЕЖНО-ЛЕСНЫЕ
РЕЗКО КОНТИНЕНТАЛЬНЫХ УМЕРЕННО ВЛАЖНЫХ И РАЗНЫХ ТЕПЛОВЫХ
УСЛОВИЙ (СРЕДНЕСИБИРСКИЕ)

А₁. Равнинные южнотаежные

А₁.1. Темнохвойно-таежные денудационных плато-равнин

1) Плакорные возвышенных равнин пихтово-кедровые с подлеском из жимолости и можжевельника травяно-зеленомошные на дерново-таежных почвах (К); 2) Куполообразных вершин водоразделов пихтово-елово-лиственничные с подлеском из жимолости травяно-зеленомошные на дерново-таежных почвах (МК); 3) Долинные и пойменные елово-пихтовые крупнотравные на перегнойных и перегнойно-торфянистых почвах в сочетании с аллювиальными дерновыми (С); 4) Днищ распадков и узких речных долин пихтовые (с кедром и елью) крупнотравные на перегнойных и перегнойно-торфянистых почвах в сочетании с аллювиальными дерновыми (С); 5) Днищ распадков и узких речных долин пихтово-еловые папоротниковые на перегнойных и перегнойно-торфянистых почвах в сочетании с аллювиальными дерновыми (С); 6) Подножий склонов пихтово-кедровые с участием лиственницы со смешанным подлеском разнотравные с пятнами зеленых мхов на дерново-таежных почвах (МК); 7) Пологосклоновых слаборасчлененных поверхностей темнохвойные травяно-зеленомошные на дерново-таежных почвах (МК); 8) Склонов средней крутизны пихтово-елово-лиственничные травяно-зеленомошные на дерново-таежных почвах (МК); 9) Склонов средней крутизны темнохвойные с примесью лиственницы травяно-кустарничковые с пятнами зеленых мхов со смешанным подлеском на дерново-таежных почвах (МК); 10) Крутых склонов темнохвойные с примесью лиственницы травяно-кустарничковые с пятнами зеленых мхов со смешанным подлеском на дерново-таежных почвах (МК); Антропогенно-нарушенные - 11) Пологосклоновых слаборасчлененных поверхностей сосновые с примесью пихты разнотравные на дерновых лесных почвах (УД); 12) Склонов средней крутизны сосновые с участием темнохвойных пород разнотравные с подлеском из спиреи и рябины на дерново-таежных почвах (УД); Антропогенно-измененные - 13) Выположенных участков водоразделов осиновые восстановительные серии (с лиственницей и кедром в подросте) с рябиной и ольхой в подлеске осочково-разнотравные на дерново-таежных почвах; 14) Плоских слаборасчлененных поверхностей березовые восстановительные серии (с пихтой и кедром в подросте) кустарниковые разнотравные на дерновых лесных почвах; 15) Плоских слаборасчлененных поверхностей березовые восстановительные серии (с елью и пихтой в подросте) крупнотравные на дерновых лесных мощных суглинистых и легкосугликистых почвах; 16) Пологосклоновых слаборасчлененных поверхностей березовые восстановительные серии с примесью темнохвойных пород кустарниковые разнотравные на дерновых лесных почвах; 17) Днищ распадков и узких речных долин березовые (с кедром и пихтой в подросте) разнотравные на дерново-лесных почвах в сочетании с аллювиальными дерновыми; 18) Склонов средней крутизны березовые восстановительные серии (с пихтой и елью в подросте) кустарниковые разнотравные на дерновых лесных почвах; 19) Склонов средней крутизны осиновые восстановительные серии (с пихтой и кедром в подросте) с жимолостью в подлеске осочково-разнотравные на дерновых лесных почвах;

А₁.2. Светлохвойно-таежные денудационно-эрозионных плато-равнин

20) Выположенных участков водоразделов сосновые бруснично-разнотравные с смешанным подлеском на дерново-таежных почвах (К); 21) Понижений водоразделов и пологих приводораздельных склонов лиственничные с елью и пихтой травяно-кустарничковые с пятнами зеленых мхов на дерново-таежных почвах (МК); 22) Пологих придолинных склонов светлохвойных с елью и кедром травяно-зеленомошные на

тяжелосуглинистых дерново-лесных почвах (МК); 23) Пологосклоновых слаборасчлененных поверхностей лиственничные с примесью сосны травяно-моховые на дерново-таежных почвах (МК); 24) Пологосклоновых слаборасчлененных поверхностей лиственничные кустарничково-моховые на дерново-таежных почвах (МК); 25) Склонов средней крутизны сосновые осочково-разнотравные со смешанным подлеском на дерново-таежных почвах (МК);

A₂ СУББОРЕАЛЬНЫЕ ГОРНЫЕ И ГОРНО-ДОЛИННЫЕ ТАЕЖНЫЕ ВЛАЖНЫХ И КОНТРАСТНЫХ ТЕПЛОВЫХ УСЛОВИЙ ВНУТРИМАТЕРИКОВЫХ СРЕДНЕГОРИЙ И ВЫСОКИХ ПЛАТО

A₂I. Горно-таежные светлехвойные южно-сибирского типа

A₂I₁. Предгорных возвышенностей светлехвойные оптимального развития

26) Пологосклоновых слаборасчлененных поверхностей сосновые бруснично-разнотравные с редким подлеском из шиповника и ольховника на легкосуглинистых дерновых серых лесных слабогумусных почвах (К); 27) Пойменные и террасовые березовые травяные с пятнами зеленых мхов на пойменно-слоистых маломощных почвах (С); 28) Склонов средней крутизны сосновые с лиственницей со смешанным подлеском разнотравные на дерновых серых лесных почвах (МК); 29) Склонов средней крутизны сосновые бруснично-разнотравные на дерново-таежных почвах (С); Антропогенно-измененные - 30) Пологосклоновых слаборасчлененных поверхностей осиновые восстановительные серии с примесью сосны с подлеском из ольхи и жимолости разнотравные на дерновых лесных почвах; 31) Пологосклоновых слаборасчлененных поверхностей березовые восстановительные серии с примесью светлехвойных разнотравные на дерновых лесных почвах; 32) Плоских слаборасчлененных поверхностей березовые восстановительные серии (с елью и лиственницей в подросте) разнотравно-злаковых на дерновых лесных мощных суглинистых и легкосуглинистых почвах, Б. Геотехнические системы - 33) Селитебная; 34) Транспортно-техническая.

Легенда прогнозно-динамической карты лесов, ключевого участка (состояние через 50 лет): 1) пихтово-кедровые с участием лиственницы травяно-зеленомошные; 2) пихтово-лиственничные с участием ели травяно-зеленомошные; 3) пихтово-еловые крупнотравные; 4) елово-пихтовые с примесью кедра крупнотравные; 5) лиственнично-кедровые с участием пихты разнотравные с пятнами зеленых мхов; 6) кедрово-пихтовые с участием лиственницы разнотравно-зеленомошные; 7) елово-лиственничные травяно-зеленомошные; 8) елово-кедрово-сосновые разнотравные; 9) березняки с примесью ели и лиственницы зеленомошно-крупнотравные; 10) березняки с примесью пихты зеленомошно-крупнотравные; 11) березняки с примесью ели и пихты зеленомошно-крупнотравные; 12) кедрово-пихтовые с участием лиственницы разнотравные; 13) лиственничники с примесью ели и пихты травяно-кустарничковые с пятнами зеленых мхов; 14) сосняки с участием лиственницы бруснично-разнотравные; 15) лиственничники с примесью темнохвойных пород зеленомошные; 16) лиственничники зеленомошные; 17) сосняки бруснично-разнотравные; 18) антропогенные структуры.

Легенда прогнозно-динамической карты лесов ключевого участка (состояние через 100 лет). 1) лиственнично-пихтово-кедровые травяно-зеленомошные; 2) пихтово-лиственничные травяно-зеленомошные; 3) пихтово-еловые с участием лиственницы крупнотравные зеленомошные; 4) ельники с примесью кедра и лиственницы крупнотравные с пятнами зеленых мхов; 5) лиственнично-кедровые разнотравно-зеленомошные, 6) лиственничники с участием ели травяно-зеленомошные; 7) елово-кедрово-сосновые с примесью лиственницы разнотравные; 8) ельники с примесью березы и лиственницы зеленомошно-крупнотравные, 9) кедрово-пихтовые с примесью лиственницы зеленомошно-крупнотравные; 10) сосняки с участием лиственницы брусничные; 11) лиственничники с примесью темнохвойных пород зеленомошные, 12) сосняки брусничные; 13) антропогенные структуры.

Программной системой для прогнозно-динамического картографирования таежных лесов Предбайкалья является интеллектуальная геоинформационная система, где тесно взаимодействуют следующие три подсистемы: ГИС, подсистема математического моделирования и система автоматизации логических рассуждений (система искусственного интеллекта) (Черкашин., Владимиров, 2004). Подсистема математического моделирования после импорта данных производит расчеты по модели, при этом пользователем предварительно выбирается один из вариантов стратегии управления (естественная или антропогенная динамика). Полученные в результате расчета данные формируют базу данных, и по запросу пользователя отображаются в виде графиков. Пользователь сам задает, какие комбинации каких переменных модели необходимо отображать в виде графиков временных рядов. Для представления результатов в виде картографического произведения данные из базы данных расчета передаются в ГИС-подсистему, которая и производит их отображение на топографической основе.

Система позволяет строить карты по модели для любого момента расчетного времени. Для каждой стадии расчета динамики формируется новое изображение как новый слой тематической карты. Динамика объекта исследования представляется серией картографических слоев, помеченных соответствующим моментом времени. Эти слои при последовательном подключении формируют картографическую анимацию, отображающую изменение во времени и в пространстве различных характеристик лесов.

Таким образом, обосновывается третье положение защиты: *тематические модели динамики геосистем, реализующиеся в комплексе с геоинформационными системами и системами географических знаний, – эффективное средство обработки космической и наземной информации для выявления скрытых закономерностей и прогнозно-динамического картографирования ландшафтов.*

ВЫВОДЫ

1. Сравнение основных понятий и методов исследований геосистем как динамических систем, анализ различных методов моделирования динамических систем и отдельных компонентов геосистем показывают, что все динамические процессы в геосистемах могут быть описаны на одном формализованном языке, адекватном основным положениям учения о геосистемах.

2. При создании прогнозных динамических моделей таежных геосистем появляется возможность добиться выполнения условия однозначности решения уравнений за счет учета начальных и граничных условий решения и условий географической среды; в последнем случае это осуществляется с помощью специальных индексов среды, определяющих значения констант функциональных зависимостей параметров природной системы.

3. Одним из важнейших этапов разработки системы моделей динамики таежных геосистем является геоинформационное обеспечение моделирования. Широкое распространение и применение геоинформационных систем и технологий во многом изменило возможности информационного обеспечения

моделирования, процедуру сбора и пространственного представления данных о начальных и граничных условиях решения дифференциальных уравнений, условиях среды, а также в оценке пространственно определенных коэффициентов моделей, в получении, преобразовании и показе данных, необходимых для построения концептуальных схем динамики, и информации для проверки моделей на адекватность.

4. Системные блоки оценки и прогнозирования динамики таежных геосистем учитывают возможности современных ГИС-технологий, позволяющих на единой основе интегрировать накопленные эколого-географические знания, разработанные ранее математические модели и методы решения задач дешифрирования космических снимков для прогнозирования динамики геосистем и оптимального управления лесопользованием и перейти к созданию интегрированных ГИС (ИнтГИС). Особенностью разрабатываемой ИнтГИС является многоуровневый подход, учитывающий иерархию геосистем, и индивидуальная привязка моделей к конкретным географическим условиям.

5. Анализ кривых распределения площадей лесонасаждений по возрасту обнаруживает закономерности связи строения лесных массивов, различающихся по пространственному положению и породному составу, что дает возможность переходить от одних расчетных моделей к другим с учетом местных лесорастительных условий и видовых особенностей пород. В основе такого структурного подобия (гомологии строения) лежит функциональное сходство (гомотопия) интенсивности процессов, различающихся по местоположению и породному составу, а в общем случае гомологическим коэффициентом, изменение которого переводит структуру в структуру.

6. Выживаемость таежных лесов с преобладанием конкретной породы определяется ландшафтной структурой территории — соотношением ареалов проявления условий разных геомов. Анализ линейной связи показателей выживаемости с ландшафтной структурой на уровне геомов показывает, что разные лесообразующие породы по-разному реагируют на специфику географических условий, что выражается не только в наборе значимых геомов, определяющих сохранность их лесов, но и в степени автономности (независимости) существования этих лесов от фоновых ландшафтных условий.

7. Выявленные закономерности связи строения лесных массивов позволяют доверять лесоустроительной информации и дают возможность более уверенно использовать тонкие методы статистического анализа для поиска скрытых закономерностей, что дает возможность создавать модели динамики лесных экосистем с преобладанием какой-то одной породы как автономные (не зависящие от изменений в лесах других пород). Предложенная модель лесной экосистемы, основанная на свойствах конгруэнции зависимости динамики от факторов географической среды, учитывает, что в ландшафтах устанавливается такой баланс биогеоценотических потенциалов лесов разных пород, который наиболее соответствует местным лесорастительным условиям и набору лесообразующих пород. Проверка работоспособности модели и правильности оценки коэффициентов базовых уравнений проводилась способом решения

прямой задачи прогнозирования, когда результаты расчетов сравниваются с реальным поведением лесной экосистемы.

8. Прослеживаемое структурное подобие (гомология) распределения площадей лесов с преобладанием определенной породы на разных территориях объясняется с позиции свойств математической модели восстановительно-возрастных смен. Данный эмпирический факт требует экспоненциальной зависимости относительной скорости смены пород от возраста, т.е. структурное подобие объясняется особенностью ускоренного течения времени в экосистемах. Это специфическое качество изменения коэффициентов динамических моделей должно учитываться при анализе данных и в прогнозных расчетах.

9. Анализ связей характеристик космических геоизображений с использованием определителя Якоби разных каналов многозональных космоснимков одной съемки и одного канала разных моментов съемки дают сопоставимые результаты, что позволяет утверждать, что помимо межканальной связи яркостных характеристик снимка (разных свойств отображенных на снимке геосистем) имеет место диахронная связь «через время» характеристик динамических состояний геосистем, т.е. существует пространственно-временная организация территории.

10. В серии разновременных геоизображений реализуется процесс перехода элементов (пикселей) геоизображений из одного состояния (яркости) в другое, который описывается уравнениями обратимой динамики (цикличности). По результатам расчетов для разных моментов времени наблюдается локальные изменения значения интенсивности смены состояний в разных направлениях (в сторону уменьшения и увеличения яркости), что отражает темпы и направленность физико-географических процессов, фиксируемых на космических геоизображениях (сход снега, вегетация, отмирание и т.д.). Получены количественные оценки интенсивности этих процессов, которые являются нестационарными, разнонаправленными, самоорганизующимися динамическими процессами. Таким образом, появляется возможность выявлять тенденции сезонной динамики ландшафтов и формировать прогноз ее развития.

11. Модели динамики геосистем совместно с ГИС являются эффективным средством обработки космической и наземной информации для прогнознo-динамического картографирования и позволяют в удобном виде визуализировать географическую информацию и затем использовать полученные электронные карты для научного анализа. Особенностью прогнознo-динамического картографирования является многоуровневый подход, учитывающий иерархию геосистем, и индивидуальная привязка моделей динамики геосистем к конкретным географическим условиям.

ОСНОВНЫЕ РАБОТЫ, ОПУБЛИКОВАННЫЕ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

1. Геоинформационная система управления территорией. — Иркутск: Издательство Института географии СО РАН, 2002. - 151 с. (соавторы А.К. Черкашин, А.Д. Китов и др.)
2. Экологически ориентированное планирование землепользования в Байкальском регионе. Район дельты реки Селенги. - Иркутск: Институт географии СО РАН, 2002. - 149 с. (соавторы А.К. Черкашин, Л.М. Корытный, Т.И. Коновалова и др.)
3. Прикладные аспекты ГИС политики землепользования Слюдянского района Иркутской области // ГИС для устойчивого развития территорий. Материалы Международной конференции. - Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, 2000. Т.2. - С. 84-96. (соавторы А.Д. Китов, Е.Г. Суворов, А.К. Черкашин и др.)
4. Состав и информационное наполнение ГИС политики землепользования Слюдянского района Иркутской области // ГИС для устойчивого развития территорий. Материалы Международной конференции.- Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, 2000. Т.2. - С. 96-106. (соавторы Е.А. Истомина, А.Д. Китов, А.К. Черкашин и др.)
5. ГИС в решении задач прогнозирования динамики лесных ресурсов // Дендрологические исследования в Байкальской Сибири. - Иркутск: СИФИБР СО РАН, 2001.-С 100-101.
6. ГИС состояния лесного фонда Иркутской области // VII научное совещание по прикладной географии: Тезисы научной конференции. - Иркутск: Институт географии СО РАН, 2001. - С. 191-193.
7. Основные понятия, методы и модели исследования географических объектов как динамических систем // Материалы конференции «Географические идеи и концепции как инструмент познания окружающего мира». — Иркутск: Институт географии СО РАН, 2001. - С. 6-7.
8. Динамика лесных ресурсов административной территории: проверка адекватности модели и прогноз // География Азиатской России на рубеже веков. Материалы XI научного совещания географов Сибири и Дальнего Востока. - Иркутск: Институт географии СО РАН, 2001. - С. 200. (соавтор Е.А. Черкашин, А.К. Черкашин)
9. Геоинформационная система состояния и прогнозирования естественной и антропогенной динамики лесных ресурсов Иркутской области // Математическое моделирование и информационные технологии: состояние и перспективы: Тезисы докладов школы-семинара - Иркутск: Институт динамики систем и теории управления СО РАН, 2001. - С. 8-9. (соавтор Е.А. Черкашин)
10. Применение данных дистанционного зондирования для создания ГИС административного региона и анализа космических изображений средствами ГИС // Интеркарто 7: ГИС для устойчивого развития территорий. Материалы Международной конференции. - Петропавловск-Камчатский: Международная Картографическая Ассоциация, 2001. - С. 47-50. (соавторы Е.А. Истомина, Т.В. Кейко, А.Д. Китов и др.)
11. Создание интегрированной многоуровневой ГИС мониторинга лесных пожаров и прогнозирования динамики лесных ресурсов // Тезисы докладов Сибирской региональной ГИС-конференции. - М.: ГИС-Ассоциация, 2002. - С. 35-38. (соавторы Н.А. Абушенко, А.В. Татарников, С.А. Ташилин, А.К. Черкашин)

- 12 Выделение границ геосистем субрегионального уровня по временным сериям многозональных космических снимков // Дистанционные исследования и картографирование структуры и динамики геосистем - Иркутск Институт географии СО РАН, 2002 -С 30-34
- 13 Динамика лесных ресурсов Иркутской области ретроспективный анализ и прогноз // Природно-ресурсный потенциал Азиатской России и сопредельных стран пути совершенствования использования Материалы международной научной конференции - Иркутск Институт географии СО РАН, 2002 - С 68-69
- 14 Таежные леса Приангарья многоуровневое и прогнозное картографирование // Материалы VII научной конференции по тематической картографии "Картографическое и геоинформационное обеспечение управления региональным развитием" - Иркутск Изд-во Института географии СО РАН, 2002 - С 57-60 (соавтор Е А Черкашин)
- 15 Гомотопические свойства моделей динамики лесных экосистем // Математические и информационные технологии в энергетике, экономике, экологии Труды Всероссийской конференции "Математические и информационные технологии в энергетике, экономике, экологии " - Иркутск ИСЭМ СО РАН, 2003 Часть 2 - С 98-103
- 16 Математическое моделирование сезонной динамики космических теоизображений // Тезисы докладов Всероссийской конференции "Дистанционное зондирование поверхности Земли и атмосферы"- Иркутск Институт солнечно земной физики СО РАН, 2003 -С 22-23
- 17 Однозначность прогнозных динамических моделей как картографическая проблема // География новые методы и перспективы развития Материалы XV конференции молодых географов Сибири и Дальнего Востока - Иркутск Институт география СО РАН, 2003 -С 155-157
- 18 Интегрированная ГИС полисистемного картографирования // ГИС для устойчивого развития территорий Материалы Международной конференции Новороссийск. Севастополь - Международная картографическая ассоциация 2003 - С 180-190 (соавторы Ф А Истомина, А В Латышева, С В Солодянкина, А К Черкашин, Е А Черкашин)
- 19 Интеллектуальная геоинформационная система динамики управления древостоем в контексте задачи разработки системы поддержки принятия решений по рациональному использованию лесных ресурсов // ИнгерКарто/ИнтерГИС 10 Устойчивое развитие территорий геоинформационное обеспечение и практический опыт Материалы Международной конференции Владивосюк (Россия), Чаньчунь (КНР) - Международная картографическая ассоциация, 2004 - С 81-85 (соавторы Е А Черкашин, А К Чудненко)
- 20 The integrated multilevel Geoinformational System of condition estimation and forecasting of taiga forest dynamics in Near Baikal Region // Boreal Forests and Environment Local, Regional and Global Scales Abstracts of XI International Conference IBFRA and Workshop GOFС, Krasnoyarsk, Russia - Krasnoyarsk VN Sukachev Institute of Forest, Siberian Branch, Russian Acadеim ol Sciences, 2002 - P 99-100 (соавтор А К Черкашин)

№ 2 1 5 3 6

РНБ Русский фонд

2005-4

19024

Подписано к печати 22 10 2004 г
Объем 1 пл Тираж 100 экз Заказ № 287
Издательство Института географии СО РАН
664033, г Иркутск, ул Улан-Баторская, 1