

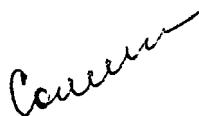
РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ  
ИНСТИТУТ ГЕОГРАФИИ

*На правах рукописи*

СОЛОДЯНКИНА СВЕТЛАНА ВИКТОРОВНА

**МОДЕЛИ И МЕТОДЫ КЛАССИФИКАЦИИ  
И ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ ГЕОСИСТЕМ  
ЮГА ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ**

Специальность 25.00.23 - физическая география и биогеография, география почв и геохимия ландшафта



**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата географических наук

Иркутск-2005

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

**Научный руководитель** доктор географических наук  
Черкашин Александр Константинович

**Официальные опоненты** доктор географических наук  
Конева Ия Викторовна

доктор физико-математических наук  
Шерстянкин Павел Павлович

**Ведущая организация** Нижневартовский государственный педагогический институт (г.Нижневартовск)

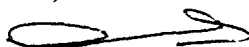
Защита состоится 14 июня 2005 г. в 13:00 ч. на заседании диссертационного совета Д-003.010.01 при Институте географии СО РАН по адресу: 664033, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1, тел/fax. (3952) 42-27-17, e-mail: postman@irigs.irk.ru

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 «11» мая 2005 г.

**Ученый секретарь диссертационного совета,  
кандидат географических наук**



**Рыжов Ю.В.**

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Проблема классификации геосистем давно является одной из наиболее актуальных в географии, поскольку она связана с решением практически всех задач географической науки. Необходимо последовательно развивать теорию и практику классифицирования с учетом потребности в современных методах обработки информации, включая анализ дистанционного зондирования для ландшафтного картографирования и формирование географических экспертных систем, основанных на классификациях.

Высшей формой классифицирования является создание естественных классификаций, позволяющих по положению объекта в системе классификации судить о его характерных свойствах и получать новые знания об объектах, рассчитывать разного рода оценочные показатели, базируясь на анализе функциональных связей характеристик геосистем с координатами их классификационной принадлежности.

**Цель исследования** - разработка моделей и методов классифицирования геосистем и количественной оценки параметров геосистем по их классификационной принадлежности.

Для достижения поставленной цели потребовалось решить следующие **задачи**:

1) разработать модели, методы и алгоритмы организации знаний о географических объектах в качественном (классификационном) и количественном (функциональном) выражении;

2) выявить пространственные и классификационные связи геосистем разного иерархического уровня в ландшафтах юга Восточной Сибири;

3) оценить возможности расчета функциональных параметров геосистем по координатам положения геосистем в структуре классификации;

4) разработать методы автоматизированного дешифрирования геосистем по космическим снимкам, основанные на функциональных моделях;

5) составить на основе разработанных методов и космических снимков ландшафтную карту на ключевой участок исследования.

**Объекты исследования** - таежные ландшафты Юга Восточной Сибири. Натурные работы проводились в провинциях Южно-сибирской горной области: Хамардабанская гольцово-горно-таежная, Окинско-Тункинская горно-таежно-гольцовая, Бирюсинско-Ийская гольцово-горно-таежная, Канская степенно-подтаежная; в Среднеангарской южно-таежной провинции Среднесибирской таежной области. В качестве модельных участков для апробирования методики выбраны 1) горная тайга Лено-Ангарского плато и таежно-болотные ландшафты Хандинской котловины Байкало-Джуджурской горно-таежной физико-географической области; 2) южная тайга Нижнего Приангарья (бассейн р. Чуны) Среднесибирской физико-географической области.

**Исходные материалы.** Для решения задач исследования на территорию Юга Восточной Сибири и ключевые участки использовались карта «Ландшафты Юга Восточной Сибири» (1977), космические снимки высокого и среднего пространственного разрешения, топографические карты масшта-

ба 1:200 000, материалы натуральных маршрутных и стационарных исследований, литературные источники и тематические карты разного содержания.

**Методы исследования.** Работа выполнена с использованием методов комплексных физико-географических исследований, обработки космических снимков, статистического анализа, математического и компьютерного моделирования, геоинформационного анализа и картографирования.

Теоретической основой и руководящими принципами данной работы стали идеи развития классифицирования, изложенные в трудах известных географов: Д.Харвея, Д.Л.Арманда, А.Г.Исаченко, Ф.Н.Милькова, А.А.Григорьева, Н.И.Михайлова, Н.А.Солнцева, В.Б.Сочавы, В.С.Преображенского, Г.Д.Рихтера. Концептуальная основа работы формировалась на идеях учения о геосистемах В.Б.Сочавы, экспериментального ландшафтоведения А.А.Крауклиса и полисистемного анализа А.К.Черкашина.

#### **Научная новизна:**

- при классификации геосистем юга Восточной Сибири реализованы принципы пространственной и системной организации территориальных объектов;

- апробирована новая методика автоматического выделения ландшафтных границ по космическим снимкам на основе автокорреляционного анализа пространственных связей геоизображений;

- выявлены особенности частотного распределения элементов космических геоизображений по яркости для функционально однородных участков и соответствующие им функции плотности распределения, позволяющие идентифицировать геосистемы на уровне класса фаций;

- показано, что количественные показатели геосистем связаны билинейной зависимостью с числовыми характеристиками положения объектов в соответствующих классификациях.

#### **Практическое значение.**

Научная работа выполнялась по темам Института географии СО РАН, по проектам РФФИ № 99-05-64075, № 02-05-65054, № 01-05-06228мас, № 02-05-06331мас, № 03-05-06515мас, ROLL 116GR3/ISN-98, ГЭФ IO10008-S3, интеграционный проект СО РАН № 67-2000.

**Личный вклад автора.** Основные результаты исследования получены автором лично. Обработка космических снимков территории Лено-Ангарского плато и Ханданской котловины с созданием картосхемы типов растительности проводилась совместно с к.б.н. Ю.О.Медведевым и Е.А.Истоминой. ГИС «Ландшафты юга Восточной Сибири» создана в центре геоэкологических исследований Восточно-Сибирского государственного технологического университета (г. Улан-Удэ). Данные биоресурсной оценки промысловых животных по свойственным угожьям предоставлены д.б.н. П.П.Наумовым.

**Апробация работы.** Основные положения и результаты исследования обсуждались на всероссийской конференции "Экология ландшафта и планирование землепользования" (Иркутск, 1999), научно-практической конфе-

ренции "Вопросы изучения биоразнообразия и мониторинг состояния наземных экосистем Байкальского региона" (Улан-Удэ, 2000), XIV и XV конференциях молодых географов Сибири и Дальнего Востока (Иркутск, 2001, 2003), XI научном совещании географов Сибири и Дальнего Востока «География Азиатской России на рубеже веков» (Иркутск, 2000), международной конференции «География и природопользование в современном мире» (Барнаул, 2001), международной научной конференции «Бореальные леса и окружающая среда: локальный, региональный и глобальный уровни» (Красноярск, 2002), научной конференции «Дистанционные исследования и картографирование структуры и динамики геосистем» (Иркутск, 2002), международной конференции «ИнтерКарто: ГИС для устойчивого развития территорий» (Апатиты, 2000; Санкт-Петербург, 2002; Новороссийск, Севастополь, 2003), всероссийской конференции «Математические и информационные технологии в энергетике, экономике, экологии» (Иркутск, 2003), международной научной конференции «Закон Российской Федерации «Об охране озера Байкал» как фактор устойчивого развития Байкальского региона» (Иркутск, 2003), первой международной конференции «Земля из космоса - наиболее эффективные решения» (Москва, 2003), конференции молодых ученых «Samsung Young Scientist Day» (Новосибирск, 2004).

Основное содержание исследований изложено в 37 публикациях, в том числе в 24 работах по теме диссертации.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и одного приложения, имеет общий объем 173 страницы, содержит 37 рисунков, 13 таблиц. Список литературы включает 132 наименования.

В первой главе рассматриваются общие вопросы классифицирования, существующие классификации в географии и новые подходы к классификации. Вторая глава посвящена описанию физико-географических особенностей геосистем юга Восточной Сибири и ключевых участков исследования. Рассматриваются методы натурных исследований и обработки космических снимков. В третьей главе разрабатываются методы выявления структуры классификации с применением геоинформационных технологий для геомов юга Восточной Сибири и фаций Нижнего Приангарья. Обосновывается связь параметров геосистем с кодировкой их классификационной позиции. Четвертая глава посвящена прикладным вопросам классификации фаций и выявления фациальной структуры ландшафтов по многоканальным космическим снимкам территории Лено-Ангарского плато и Хандинской котловины.

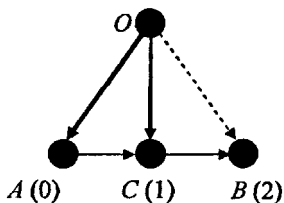
## **ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

**1. Принципы вариативной изменчивости, иерархической и пространственной организации геосистем определяют теоретические и методические основы естественной классификации географических объектов.**

*Естественная классификация* (ЕК) - это способ упорядочения таксономических (типологических) единиц (ТЕ), когда место в классификации

(классификационная позиция - КП) однозначно определяет все свойства классифицируемого объекта. Для формирования ЕК необходимо задать порядок (структуру, топологию) на множестве ТЕ и кодировку каждой КП. Структура ЕК восстанавливается по двум принципам: *системной и пространственной организации ТЕ*.

Системная организация базируется на процедуре утробения: существования трех взаимно дополнительных логических категорий (тезис, антитезис, синтез). Ф.Н.Мильков (1984) отмечал, что свойства географического объекта меняются от одной его границы к другой, что позволяет различать в нем три



**Рис.1** Логика развертывания базовой ячейки пространства классификации по принципу системной организации ТЕ (пояснения в тексте).

части - срединную и две окраинные. Этот принцип нашел широкое применение в географическом анализе и рассматривается как выражение процедур векторно-комбинаторной фрактальной логики (Черкашин, 1997, 2005): любая логическая категория утраивается, формируя локальную систему координат частных категорий, которые также утраиваются и т.д.

Анализ базовых положений структурно-динамического подхода в географии (Сочава, 1978) с позиций принципа системной организации выделяет два признака классифицирования,

на которых строится ЕК геомеров:

1) *иерархическая организация геосистем* - природные объекты различных масштабов организуются в иерархические системы соподчинения таксономических единиц разного ранга; 2) *варьирование геосистем* - каждый геомер на любом уровне иерархии является вариантом геомера вышележащего уровня иерархии. Множество вариантов  $A, B, C$  геомера базового уровня  $O$  (рис.1) объединяются в эпигеомер  $(A, B, C)$ , где каждый вариант связан с инвариантом  $A$  - коренной геосистемой нижнего уровня, в наивысшей степени соответствующей содержанию базового геомера  $O$ , а через него — зональной нормой. Варьирование геосистем от места к месту - результат факторной трансформации инвариантов и выражается в появлении на каждом уровне иерархии триады изменчивости геосистем (названия по: Сочава, 1978): коренные (тезис  $A$ ), серийные ( $A \rightarrow B$  - **антитезис**) и мнимокоренные ( $C$  - синтез двух полюсов  $A, B$ ) (рис.1). Помимо этой упорядоченности триада ТЕ организуется по признаку факторной изменчивости  $A(0) \rightarrow C(1) \rightarrow B(2)$  (в скобках указан троичный код изменчивости 0,1,2) или обратно направленной восстановительной динамики  $A \leftarrow C \leftarrow B$  - от серийных геосистем к коренным.

Схема на рис.1 отображает базовую ячейку отношений в иерархической классификации (рис.2), которая переходит в линейно-упорядоченное множество геосистем по характеристике факторной изменчивости (0-26).

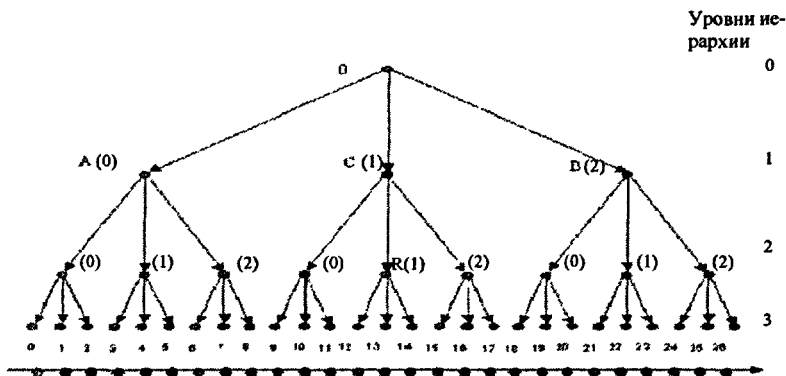


Рис. 2. Многоуровневая классификация геосистем и переход к линейной модели вариативной изменчивости

Иерархическая структура классификации переводится в треугольную (рис.3) с барицентрическими координатами КП ( $x, y, z$ ) (изменяются от 0 до 6), когда  $x+y+z=6$ , т.е. один из показателей является зависимым. С помощью других преобразований иерархическая структура превращается в круговые, и другие модели ЕК.

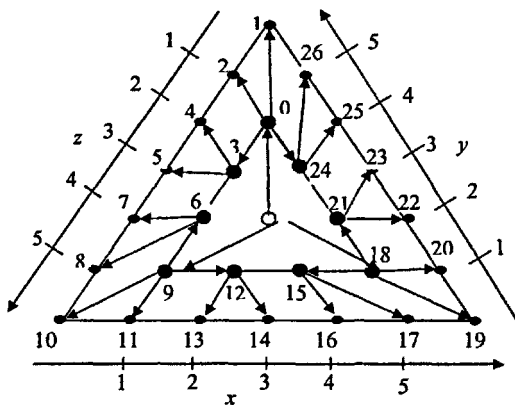


Рис. 3. Переход от многоуровневой и линейной моделей классификаций к треугольной модели, позволяющей параметризовать положение объектов в структуре классификации в барицентрических координатах ( $x, y, z$ ). Номера 0-26 соответствуют обозначением на линейной модели (рис. 2).

Каждая из моделей имеет свой способ кодирования КП, например, в линейной схеме — это порядковый номер КП (число от 0 до 26). В иерархической классификации к порядковому номеру добавляется уровень иерархии — число от 0 (верхний уровень) до 3 (нижний уровень) (см. рис.2). Троичный код задается многозначным числом из цифр 0,1,2 (см. рис.2), например позиция R имеет код 011 (см. рис.2), а порядковый номер 19 соответствует троичному коду 0201. Все кодировки эквивалентны друг другу, но лучшей из них является та, которая задает КП большим разнообразием чисел.

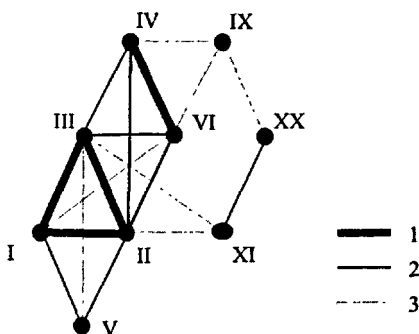


Рис. 4. Граф основных отношений соседства наиболее значимых в пространственной организации геомов (I-XX) территории бассейна оз. Байкал. Условные обозначения: степени соседства: 1 - очень сильные; 2 - сильные; 3 - слабые.

шафтах, порождая нелинейную двумерную плоскостную классификацию. Это свойство обусловлено триадной топологией соседства ландшафтных выделов (контуры выделов по степени соседства группируются по три), что в итоге переходит в треугольные классификации. Принцип пространственной организации реализуется лишь тогда, когда классифицируемые объекты принадлежат одному эпигеому (совпадают по уровню иерархии и относятся к ветви одного таксона более высокого ранга).

Для проведения такого анализа использовалась ГИС «Ландшафты юга Восточной Сибири», созданная по одноименной карте (1977) для бассейна оз. Байкал. На основе ГИС в автоматическом режиме построена матрица соседства геомов этой территории, рассчитаны коэффициенты смежности и восстановлена структура графа соседства геомов (рис.4): вершины - геомы, ребра - отношения разной степени соседства. Наиболее сильные пространственные связи у гольцовых и подгольцовых байкало-джугджурских и восточносаянских геомов (I-VI). Однако наибольший суммарный показатель смежности  $\hat{W}$  свойственен геому горно-таежных сосновых лесов  $W(XX)=20$ , который соседствует с большинством других геомов, т.е. формирует своеобразную инфраструктурную сеть геосистем территории. Именно этот геом положен в основу пространственной организации классификационных связей (рис.5). На следующем уровне дифференциации по критерию  $W$  к числу организующих географическое пространство отнесены гольцово-тундровые геомы  $W(II)=15,87$ , два геоба класса горно-таежных байкало-джугджурских геосистем (горно-таежные лиственничные ограниченного  $W(IX)=7,95$  и оптимального  $W(XI)=9,15$  развития) и два геоба класса горно-таежных сосновых лесов (горно-таежные темнохвойные ограниченного развития  $W(XV) = 9,04$  и горно-таежные сосновые  $W(XX)=7,57$ ). Во всех классификациях

Принцип пространственной организации выражает следующую закономерность: смежные в пространстве географические объекты должны быть смежными и в структуре классификации. Этот принцип имеет самые разные интерпретации, зависящие от модели представления ЕК. В линейной модели он очевиден: смежные по категориям факторной изменчивости (серийности) или по стадиям восстановительной динамики должны соседствовать друг с другом в пространстве или времени. Вместе с тем возможны дальние связи, когда линейно несмежные ТЕ могут соседствовать в ландшафтах,

групп геомов хорошо прослеживается три комплексных фактора (векторы-оппозиции) дифференциации геосистем: светлохвойные - темнохвойные, горные - подгорные, таежные - подтаежные геосистемы.

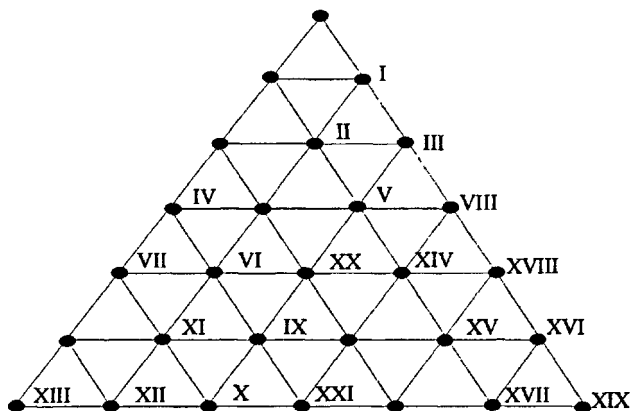


Рис. 5. Схема классификации геомов бассейна оз. Байкал по показателям пространственной смежности. Геомы: I - Гольцовые альпинотипные, II - Гольцовые тундровые, III - Подгольцовые кустарниковые, IV - Подгольцовые лиственнично-редколестные и каменно-березовые, V - Подгольцовые темнохвойно-редколестные, VI - Горно-таежные лиственничные редуцированного развития, VII - Межгорных понижений и долин таежные лиственничные редуцированного развития, VIII - Межгорных понижений и долин таежные темнохвойные редуцированного развития, IX - Горно-таежные лиственничные ограниченного развития, X - Межгорных понижений и долин таежные лиственничные ограниченного развития, XI - Горно-таежные лиственничные оптимального развития, XII - Подгорные и межгорных понижений лиственнично-таежные оптимального развития, XIII - Подгорные подтаежные лиственничные, XIV - Горно-таежные темнохвойные редуцированного развития, XV - Горно-таежные темнохвойные ограниченного развития, XVI - Подгорные и межгорных понижений таежные темнохвойные ограниченного развития, XVII - Подгорные и межгорных понижений таежные кедрово-лиственничные ограниченного развития, XVIII - Горно-таежные темнохвойные оптимального развития, XIX - Подгорные и межгорных понижений таежные темнохвойные оптимального развития, XX - Горно-таежные сосновые, XXI - Подгорные подтаежные сосновые.

По показателю  $W$  в пределах класса геомов выделяются те геомы, которые не относятся к данному классу. Например, в классе горно-таежных байкало-джугджурских геомов у геомы межгорных понижений и долин темнохвойной тайги редуцированного развития (VIII) показатель соседства всего  $W=0,94$ , т.е. он может считаться экстраобластным включением.

Классификация геосистем в виде схем разной структуры позволяет кодировать классификационные позиции геомов, т.е. получить набор координат  $x, y, z$ , которые могут быть сравнены с количественными и качественными характеристиками геосистем для получения уравнений связи.

**2. Количественные показатели геосистем и кодировочные характеристики их положения в классификации функционально связаны билинейной зависимостью.**

Наличие связи показателей геосистем с кодировкой КП устанавливалось по данным из различных источников. Сначала методом утробения воспроизводится иерархическая схема классификации, которая переводится в одну из возможных моделей классификации для получения кодировочных значений  $N=(x, y, z)$ .

Для проверки гипотезы связи теоретических кодировок с эмпирическими характеристиками геосистем использовались данные, полученные в 70-х годах на полигоне-трансекте Приангарского южно-таежного стационара (Природные режимы..., 1975) для 36 пробных площадей, относящихся к разным переменным состояниям (а - активизация, с - стагнация, н - нормализация) таежных фаций субгидроморфного, сублитоморфного и субкриоморфного факторально-динамических рядов (классов фаций). Группы фаций выделяются по категориям серийности (коренные, мнимокоренные, серийные), фации - по степени проявления свойств фаций каждой группы (О - оптимальное, П - промежуточное, Р - редуцированное) (Крауклис, 1979).

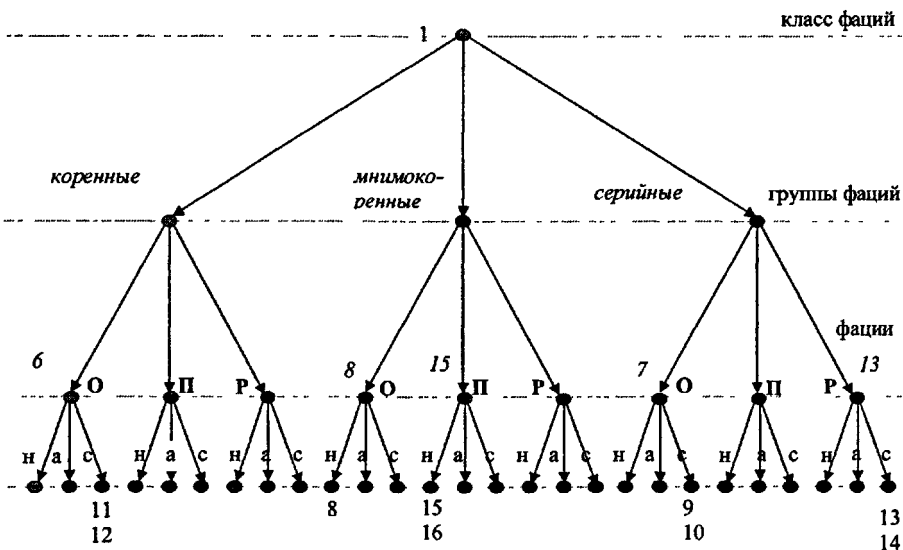


Рис. 6. Иерархическая классификация сублитоморфных фаций (пояснения в тексте)

Таблица 1.

Связь количественных значений признаков геосистем с классификационной позицией

Показатель	R <sub>0</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>	R <sub>5</sub>	R <sub>6</sub>
Относительная высота	0,62	<b>0,64</b>	0,27	<b>0,65</b>	<b>0,68</b>	<b>0,81</b>	<b>0,66</b>
Суммарная радиация под пологом леса	0,62	0,36	0,52	<b>0,54</b>	<b>0,54</b>	<b>0,78</b>	<b>0,49</b>
Суточные максимумы температуры воздуха	0,72	0,37	0,7	<b>0,61</b>	<b>0,71</b>	<b>0,68</b>	<b>0,55</b>
Суточные минимумы температуры воздуха	0,71	<b>0,66</b>	0,41	<b>0,67</b>	<b>0,72</b>	<b>0,89</b>	<b>0,69</b>
Температура почвы на глубине 20 см	0,90	<b>0,65</b>	0,37	<b>0,59</b>	0,7	<b>0,85</b>	<b>0,69</b>
Количество дней с суточной температурой ≤ 0°	0,45	<b>0,71</b>	0,28	<b>0,73</b>	<b>0,43</b>	<b>0,94</b>	<b>0,52</b>
Количество дней с суточной температурой ≥ 15°	0,71	<b>0,63</b>	0,54	<b>0,52</b>	<b>0,75</b>	<b>0,94</b>	<b>0,77</b>
Влажность почвы в слое 0-20 см	0,86	<b>0,61</b>	0,37	<b>0,58</b>	<b>0,44</b>	<b>0,74</b>	<b>0,38</b>
pH почвы в слое 0-20 см	0,92	<b>0,48</b>	<b>0,73</b>	<b>0,59</b>	0,29	<b>0,92</b>	<b>0,35</b>
Запас биомассы	0,83	0,14	<b>0,80</b>	<b>0,52</b>	<b>0,55</b>	<b>0,87</b>	<b>0,6</b>
Количество деревьев	0,48	0,33	<b>0,81</b>	<b>0,56</b>	<b>0,82</b>	<b>0,84</b>	<b>0,61</b>
Зеленая биомасса травянистых и кустарничковых растений	0,45	<b>0,7</b>	0,64	<b>0,65</b>	0,33	0,67	<b>0,39</b>
Зеленая биомасса мха	0,7	<b>0,51</b>	0,64	<b>0,34</b>	<b>0,61</b>	<b>0,89</b>	<b>0,66</b>
Масса отмершей почвенной органики	0,81	<b>0,41</b>	0,37	<b>0,41</b>	<b>0,41</b>	0,27	0,3

Коэффициенты множественной корреляции связи характеристик: R<sub>0</sub> – участков субгидроморфных фаций с барицентрической координатой (БК) у при x=0; R<sub>1</sub> – участков субгидроморфных фаций с БК (x, y, z); R<sub>2</sub> – участков сублитоморфных фаций с БК (x, y, z); R<sub>3</sub> – участков фаций всех классов с БК (x, y, z); R<sub>4</sub> – участков субгидроморфных фаций с троичным кодом; R<sub>5</sub> – сублитоморфных фаций с троичным кодом; R<sub>6</sub> – всех классов фаций с троичным кодом. Жирным шрифтом выделены значимые коэффициенты корреляции с уровнем достоверности 0,95.

Использование разного рода нелинейных зависимостей  $p(x,y,z)$  не приводит к существенному увеличению корреляции между реальными и расчетными значениями по сравнению с линейной схемой расчета:

$$p - p_0 = a_1x + a_2y + a_3z, \quad (1)$$

где  $a = (a_1, a_2, a_3)$  – коэффициенты множественной регрессии,  $p_0$  – свободный член уравнения. Поскольку коэффициенты  $a$  различаются для разных показателей геосистем, то зависимость (1) правильной называть билинейной, где и  $N=(x,y,z)$  и  $a=(a_1, a_2, a_3)$  являются переменными величинами.

Корреляция сильнее между признаками биогеоценозов одного класса фаций, чем для всей совокупности пробных площадей. Коэффициент корреляции повышается, если выделить отдельно коренные, мнимокоренные или серийные состояния фаций, но при этом уменьшается количество данных, и коэффициент корреляции становится недостоверным. Для субгидроморфных геосистем выявлена высокая корреляция  $r > 0,70$  барицентрического кода и троичного кода с 7 характеристиками геосистем, для сублитоморфных геосистем – с 11 характеристиками геосистем. В данном случае трехуровневый троичный код оказывается более информативным, чем барицентрические координаты КП. Таким образом, классификационный код является неслучайным, а несет информацию о характеристиках геосистем, т.е. предлагаемые схемы классификации являются естественными. Это позволяет рассчитывать

параметры геосистем по координатам КП, т.е. использовать классификации для количественной оценки.

Оценивалась биологическая продуктивность охотничьих угодий Олхинского плато (Южное Прибайкалье). Использовались данные ГИС Слюдянского района и натурной оценки продуктивности  $\rho$  (шт/1000 га) угодий по различным видам промысловых животных (соболь, колонок, горностаи, волк, лисица, медведь, белка, олень, косуля, кабарга). В данном случае выделы геосистем (классы фаций) интерпретировались как свойственные угодья обитания животных. По треугольной модели классификации рассчитаны барицентрические координаты каждого свойственного угодья. Расчеты проводились по формуле (1):

$$\ln(\rho/\rho_0) = a_1x + a_2y, \quad (2)$$

где  $p = \ln\rho$ ,  $p_0 = \ln\rho_0$ ,  $a_3 = 0$ , например, для соболя  $\ln\rho + 11,43 = 1,88x + 1,24y$  ( $R=0,90$ ). Коэффициент корреляции  $R$  для различных видов животных колеблется от 0,72 до 0,90. Это позволяет утверждать, что кодировка КП свойственных угодий несет информацию о биоресурсном потенциале земель, что используется для его оценки и картографирования.

В силу билинейной изменчивости параметров геосистем разные по коэффициенту  $a=(a_i, a_j, a_k)$  объекты в одинаковой среде будут давать разные результаты оценивания и один объект в разной среде должен давать разные оценки в соответствии с варьированием элементов кода  $N=(x, y, z)$ . Набор коэффициентов  $a$  связан с классификацией объектов (характеристик) так же, как набор  $N$  с классификацией условий (типов геосистем).

**3. Тип частотного распределения элементов космических снимков специфичен для выделов классов фаций, что дает возможность идентифицировать выделы при создании ландшафтной карты горно-таежной территории.**

В общем случае причинно-следственные связи между характеристиками геосистем  $Y=(Y_1, Y_2, \dots, Y_i, \dots)$  являются нелинейными, и классификационный код  $N$  входит в функции взаимосвязи как набор дополнительных параметров:

$$Y_j = H_y(Y, N)Y_i, \quad (3)$$

$H_y(Y, N)$  - коэффициент связи переменных  $Y_i$  и  $Y_j$ ; он зависит от всех характеристик геосистем и комплекса условий среды, задаваемым классификационным кодом геосистемы  $N$ .

Исследовалась частота распределения  $y_i$  ( $Y_i = \ln y_i$ ) элементов геоизображения (пикселей) по грациям яркости пикселей  $u$  ( $Y_j = \ln u$ ) в пределах 1-го выдела геосистем. Обработывались космические снимки со спутников LANDSAT (прибор TM) и IRS-1C (приборы LISS-3 и PAN)) на территорию Лено-Ангарского плато и Хандинской котловины.

Для обработки космического снимка проводились натурные маршрутные исследования ключевых участков.

Границы функционально однородных участков выделялись по снимку методом автокорреляционного пространственного анализа геоизображения.

Границы векторизовались и на основе сетки ландшафтных выделов (переменных состояний геосистем) создавалась ГИС района исследования. Обследованные (эталонные) выделы детально описаны с определением типа растительного покрова.

С помощью ГИС для таких выделов строилось распределение  $y_i(u)$ , имеющее асимметричную колоколообразную форму и отражающую своеобразную экологическую нишу существования типов растительности. Распределения

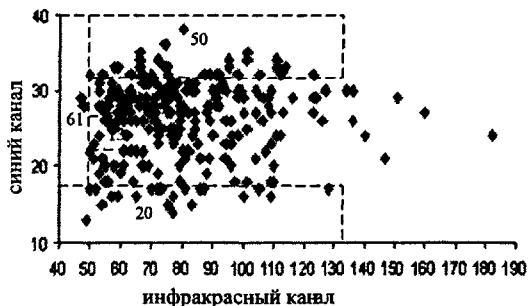
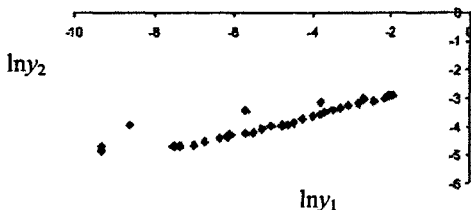


Рис. 7. Пример ординации выделов (в пространстве модальных значений распределений элементов космического снимка по яркости в двух каналах съемки) по типам растительного покрова: 13 - елово-пихтово-кедровые редкостойные кустарничково-зеленомошнные леса; 20 - елово-кедрово-пихтовые кустарничково-мелкотравно-зеленомошные леса; 50 - сосновые с лиственницей разнотравно-брусничные леса; 61 - лугово-кустарничково-болотная серия сообществ.

распределений сравниваются, если совместить моды этих распределений. В логарифмическом масштабе (рис.8) в этом случае значения частот  $y_1(u)$  и  $y_2(u)$  оказываются линейно зависимы:  $\ln y_2 = k_{12} \ln y_1 + k_{012}$  (4). Для разных распределений коэффициенты корреляции изменяются от 0,75 до 0,92, а  $k_{12}, k_{012}$  линейно зависимы  $k_{012} = -3,67 + 3,46k_{12}$ , откуда связь распределений образует конгруэнцию  $\ln y_2 + 3,67 = k_{12}(\ln y_1 + 3,46)$  - пучок линий с общим центром



$y_i(u)$  разных типов отличаются положением максимума (модой распределения, модальным значением  $u$ ) и формой. Сравнение  $u$  для разных каналов съемки формирует точечное пространство ординации растительности и используется для параллелепипедной классификации всех выделов на основе эталонных выделов (рис. 7). Эта классификация применялась для создания карты растительности изучаемой территории.

Формы разных рас-

Рис. 8. Зависимость частоты встречаемости  $y_1$  элементов геоизображений 2-х растительных сообществ ( $y_1$  - кедрово-лиственничные и  $y_2$  - пихтовые леса) при совмещении модальных значений распределений. Точки - эмпирические значения.

$(\ln y_2, \ln y_1) = (-3,67; -3,46)$ . Тогда коэффициент формы  $k$ , и смещение моды  $\Delta u_i$

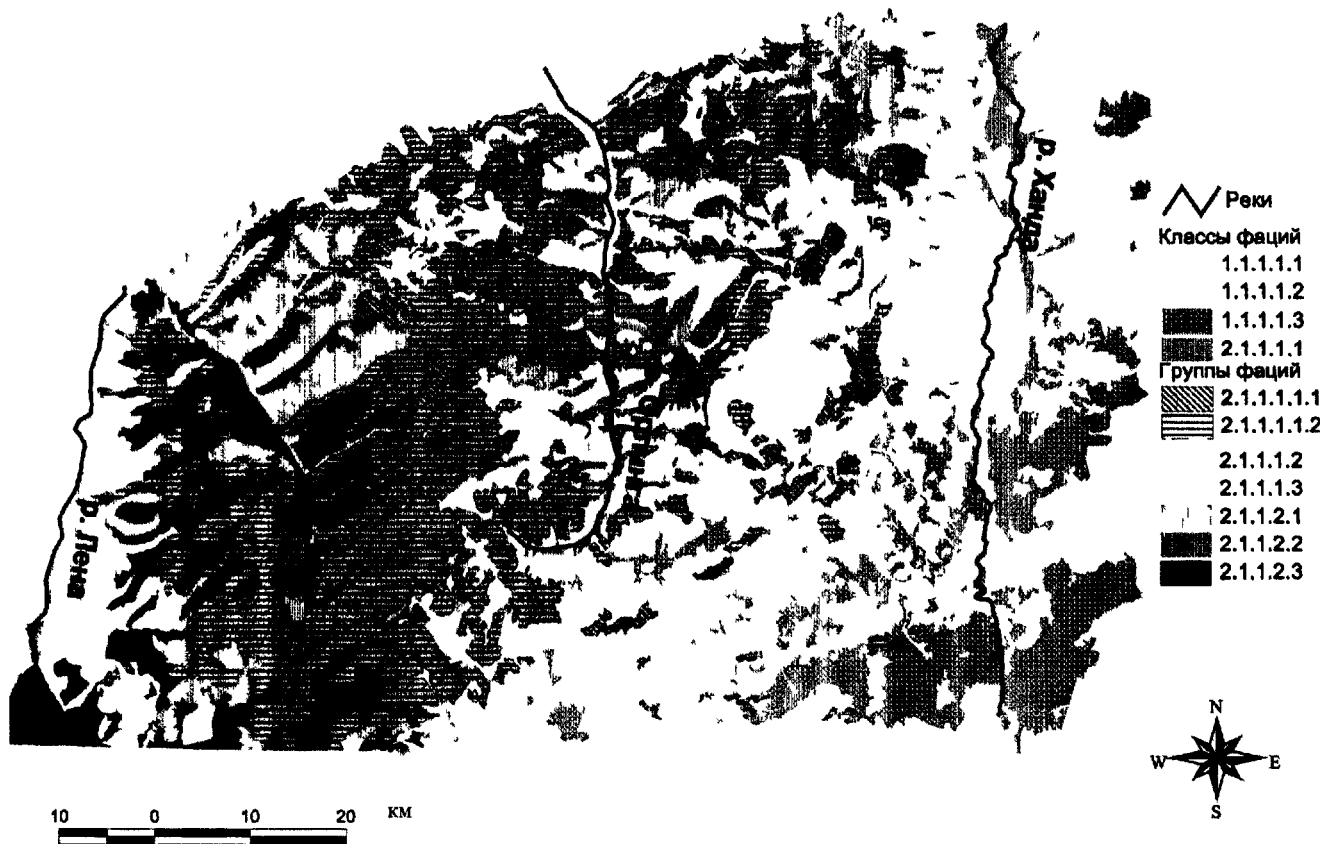


Рис 9 Ландшафтная типологическая карта Лено-Ангарского плато и Хандинской котловины

## Легенда ландшафтной типологической карты (рис. 9)

Таежный тип природной среды.

1. Тип восточно-сибирских горно-равнинных геомов.
  - 1.1. Класс южносибирских горно-таежных геомов.
    - 1.1.1. Группа подгорных таежных геомов.
      - 1.1.1.1. Геом лиственничных лесов ограниченного развития межгорных понижений и долин.
        - 1.1.1.1.1. Класс субгидроморфных фаций на склонах и низких террасах лиственничных лесов (с елью и кедром) на дерновых и лугово-болотных почвах.
        - 1.1.1.1.2. Класс субстагнозных фаций пологих склонов и заболоченных долин с островными прирусловыми ельниками и березовыми редколесьями на болотных, лугово-болотных, луговых и аллювиальных часто мерзлотных почвах.
        - 1.1.1.1.3. Класс субкриогидроморфных фаций долинных ерников на мерзлотных почвах.
  - 2.1. Класс байкало-дзунджурских горно-таежных геомов.
    - 2.1.1. Группа таежно-плоскогорных геомов.
      - 2.1.1.1. Геом горно-таежных темнохвойных фаций ограниченного развития.
        - 2.1.1.1.1. Класс сублитоморфных фаций водоразделов и склонов разной крутизны кедрово-пихтовых мелкотравно-зеленомошных лесов на дерново- и перегнойно-карбонатных почвах на известняках и доломитах.
          - 2.1.1.1.1.1. Группа сублитоморфных фаций водоразделов и склонов пихтово-кедровых с примесью ели кустарничково-мелкотравно-зеленомошных лесов на перегнойно-карбонатных и мерзлотно-таежных почвах.
          - 2.1.1.1.1.2. Группа сублитоморфных фаций на склонах разной крутизны кедрово-пихтовых мелкотравно-чернично-моховых лесов на дерново- и перегнойно-карбонатных оподзоленных и выщелоченных почвах.
        - 2.1.1.1.2. Класс сублитоморфных фаций выровненных поверхностей и склонов кедрово-лиственничных редколесий на маломощных подзолистых почвах.
        - 2.1.1.1.3. Класс субгидроморфных фаций долин и нижних частей склонов еловых (с лиственницей, кедром и пихтой) кустарничково-зеленомошных лесов на аллювиальных и мерзлотно-таежных почвах.
      - 2.1.1.2. Геом горно-таежных лиственничных фаций оптимального развития.
        - 2.1.1.2.1. Класс субсеролитоморфных фаций на склонах преимущественно южной экспозиции сосновых лесов (с лиственницей) разнотравных на дерново- и перегнойно-карбонатных подзолистых почвах.
        - 2.1.1.2.2. Класс субкриогидроморфных фаций нижней части пологих склонов северной экспозиции сосново-лиственничных лесов на мерзлотно-таежных, торфянисто-перегнойных мерзлотных почвах.
        - 2.1.1.2.3. Класс субгидроморфных фаций на склонах и низких террасах кедрово-лиственничных (с пихтой и елью в подросте) разнотравно-кустарничково-зеленомошных лесов на дерново- и перегнойно-карбонатных почвах, а также на дерновых лесных почвах.

распределения  $y_i(u)$  относительно некоторого «эталонного» распределения  $y_0(u)$  однозначно определяет вид кривой  $y_i(u)$ . Каждый тип геосистемы соответствует линии со своим углом наклона  $k_i$ , который является ее идентификатором, гомотопическим параметром. Гомотопический  $k_i$  и модальный  $k$ , параметры распределения определены для каждого выдела, и по их сходству с аналогичными параметрами эталонных выделов конкретный выдел был отнесен к конкретному типу растительного покрова.

Вся совокупность полученной информации, включенная в ГИС ландшафтных выделов, использована при составлении типологической ландшафтной карты М1:500000 на территорию Лено-Ангарского плато и Хандинской котловины (площадь 755 тыс. га) (рис. 9). Объектно-ориентированная ГИС содержит электронный вариант контурной основы с 3796 выделами и базу данных по каждому выделу. Средний размер выделов - 200 га, что соответствует уровню урочища или группы фаций. Для каждого выдела по результатам натурных исследований и обработки космических снимков определен тип растительности. Топографическая карта М 1:200000 использовалась для характеристики местоположения выделов (высота, уклон, экспозиция). Тип почвенного покрова по выделам снимался с почвенной карты района исследований (Кузьмин, Белозерцева 2004).

Имеющаяся информация позволяет типизировать выделы на уровне класса фаций, объединяющих фации одного факторально-динамического ряда. Выделы автоматически относились к конкретному классу фаций по совокупности всей информации в базе данных ГИС, связанных с данным выделом. Для нарушенных геосистемы использовались дополнительные характеристики почвы и рельефа с учетом реализации принципа соседства: если эти характеристики совпадали для соседних выделов, то они относились к одной таксономической единице.

Классификация геосистем территории исследования создавалась на уровне класса фаций и, где позволяла информация, на уровне группы фаций по принципам иерархичности и вариативности. Фации одного класса связаны одним эквифинальным состоянием, соответствующим коренной растительности ранга группы формаций. В пределах класса фаций представлены все серийные формы видоизменения геосистемы по ведущему фактору. Все классы фаций иерархически упорядочены и каждому классу соответствует иерархический код, например 2.1.1.1.3 - класс субгидроморфных фаций долин и нижних частей склонов северной экспозиции. Иерархическая классификация трансформировалась в треугольную, где каждый класс фаций кодировался набором барицентрических координат  $(x, y, z)$ . С этими координатами сравнивались гомотопический и модальный параметры выделов, относящихся к 7 классам фаций (табл. 2):

Таблица 2

Кодировочные значения положения классов фаций в структуре классификации и параметры распределений соответствующих им выделов

Номер класса фаций	Класс геомов ( $n$ )	$x$	$y$	$z$		$u_i$
1.1.1.1.1.	0	1	2	3		0,77 79
1.1.1.1.2.	0	0	2	4		0,79 75
1.1.1.1.3.	0	0	1	5		0,78 101
2.1.1.1.1.	1	3	2	1		2,39 54
2.1.1.1.2.	1	4	2	0		0,67 182
2.1.1.1.3.	1	3	3	0		1,28 64
2.1.1.2.1.	1	2	4	0		1,02 77

Связи гомотопического  $k_i$  и модального  $u_i$  параметров с барицентрическими координатами ( $x, y, z$ ) для различных классов фаций имеют следующий вид:

$$k_i = 0,60x - 0,03y + 0,44z + 1,03n - 1,13, \quad R = 0,91,$$

$$u_i = -13,50x + 11,50n + 89,50, \quad R = 0,82,$$

где  $i$ - классификационный код класса геомов (0 - класс южно-сибирских южно-таежных горных геомов, 1 - класс байкало-джугджурских южно-таежных горных геомов). Характеристика класса геомов и увеличивает степень связности, т.е. зонально-региональная специфика геосистем влияет на параметры распределений. Основным фактором, определяющим значение параметра  $k_i$  является координатах, соответствующая, судя по классификации, комплексу факторов теплообеспеченности. Существенное значение имеет координата  $z$ , интерпретируемая как влагообеспеченность: изменяется от условий сосновых лесов сухих склонов южной экспозиции (0) до зарослей ерников заболоченных долин (5). К координате  $y$  (фактор обеспечения минеральным питанием) коэффициент  $k$ -, не чувствителен.

Таким образом, параметры кривых распределений пикселей по градиентам яркости в границах однородных выделов геосистем разных классов фаций зависят от классификационной позиции геомера, что используется для идентификации геосистем по космическим снимкам.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Классификация геосистем создается на основе принципов фрактальной иерархичности и изменчивости геосистем, выражающейся в повторении на каждом уровне трехэлементной схемы деления типологических единиц на геомеры серийного, мнимокоренного и коренного типа изменчивости. Коренные геосистемы, с одной стороны, представляют геомер верхнего уровня и максимально проявляют в своей структуре региональные черты, а с другой, - определяют направление развития остальных однопорядковых геосистем.
2. Предлагаемые иерархические, линейные и треугольные схемы классификации геосистем позволяют параметризовать классификационную позицию каждого геомера набором чисел (кодом, координатами).

3. Пространственная организация (отношения соседства) ландшафтов юга Восточной Сибири структурно подобна системной организации объектов - иерархической классификации геосистем этой территории по триадному принципу.
4. Физико-географические параметры геосистем связаны билинейным уравнением с координатами положения геосистемы в предлагаемых структурах классификации, что указывает на возможность создания естественных классификаций геосистем.
5. Форма и положение распределения элементов космических снимков индивидуальны для контуров каждого класса фаций, что позволяет идентифицировать геомеры при создании ландшафтной карты горно-таежной территории.
6. Частотные распределения элементов космических геоизображений по яркости при совмещении их модальных значений линейно зависимы (в логарифмическом масштабе), что указывает на существование общей функции распределения с гомотопическими и модальными параметрами, идентифицирующими классы фаций. Эти параметры линейно связаны с координатами классификационной позиции геомера, что указывает на естественную зависимость функций распределения (геосистемных ниш) с классификационной кодировкой геосистем.

#### **Основные работы, опубликованные по теме диссертации**

1. Классификация геосистем бассейна озера Байкал на основе принципов пространственной и системной организации // Современные проблемы географии и природопользования. - 2000, № 7. - С. 72 - 81 (соавтор А.К.Черкашин).
2. Состав и информационное наполнение ГИС политики землепользования Слюдянского района Иркутской области// ГИС для устойчивого развития территорий. Т.2. - Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, 2000. - С. 96-106 (соавторы И.Н.Владимиров, Е.А.Истомина, А.Д.Китов и др.).
3. Исследование географических объектов как функциональных систем // Географические идеи и концепции как инструмент познания окружающего мира. — Иркутск: Изд-во Института географии СО РАН. - 2001. - С. 27.
4. Экологический каркас как природная основа организации рационального природопользования // VII научное совещание по прикладной географии, Иркутск: Изд-во Института географии СО РАН. - 2001. - С. 103 (соавтор А.К.Черкашин).
5. Многоуровневая система формирования биологического разнообразия таежных экосистем Байкальской природной территории // Современные проблемы байкаловедения. - Иркутск: Изд-во Иркутского университета, 2001. — С. 62 - 76 (соавторы Е.А.Истомина, А.В.Латышева).
6. Ландшафтно-экологическое зонирование Прибайкалья по принципам выделения экологического каркаса с применением ГИС-технологий // Дендрологические исследования в Байкальской Сибири. — Иркутск: СИФИБР СО РАН, 2001. - С. 53 - 54 (соавтор Е.А.Истомина).

7. Естественная классификация геосистем: модели и методы решения задачи // География Азиатской России на рубеже веков. Материалы XI научного совещания географов Сибири и Дальнего Востока. - Иркутск: Изд-во Института географии СО РАН, 2001. - С. 94-96 (соавтор А.К.Черкашин).

8. Конгруэнтные закономерности формирования функциональных связей различных характеристик структуры и динамики древостоев // Дендрологические исследования в Байкальской Сибири. - Иркутск: изд-во СИФИБР СО РАН, 2001. - С. 64 - 67 (соавтор А.К.Черкашин).

9. Функциональные модели природных закономерностей и методы идентификации состояния среды // Экология и здоровье человека, экологическое образование, математическое моделирование и информационные технологии. - Краснодар: Кубанский государственный аграрный ун-т, 2001. - С. 330 - 331 (соавтор А.К.Черкашин).

10. Анализ ландшафтно-типологической карты на основе принципов пространственной и системной организации // Методология системного экологического картографирования. - Иркутск: Изд-во Института географии СО РАН, 2002. - С. 31-40 (соавтор А.К.Черкашин).

11. Выделение фрактальных закономерностей при анализе структуры пространства яркостных характеристик многозональных космических снимков // Дистанционные исследования и картографирование структуры и динамики геосистем. - Иркутск: Изд-во Института географии СО РАН, 2002. - С. 38-41.

12. Экологический каркас и сохранение биологического разнообразия // Геоинформационная система управления территориями. - Иркутск: Изд-во Института географии СО РАН, 2002. - С. 111-119 (соавтор А.К.Черкашин).

13. ГИС управления административным районом // ИнтерКарто8: ГИС для устойчивого развития территорий. Материалы Международной конференции. - СПб: изд-во ЗАО «Карта», 2002. - С. 240-245 (соавторы А.Д.Китов, А.К.Черкашин, Е.А.Истомина, и др.).

14. Экологический каркас территории // Экологически ориентированное планирование землепользования в Байкальском регионе. Дельта р. Селенги. - Иркутск: Изд-во Института географии СО РАН, 2002. - С. 97-104 (соавтор А.К.Черкашин).

15. Атласное ГИС-картографирование для управления административными районами // Тезисы докладов Сибирской региональной ГИС-конференции - М.: ГИС-Ассоциация, 2002. - С. 5 -7 (соавторы Е.А.Истомина, А.В.Латышева, С.И.Мясникова).

16. Методы классификации геосистем с использованием данных космических снимков // География: новые методы и перспективы развития. - Иркутск: Изд-во Института географии СО РАН, 2003. - С. 17-23.

17. Модели экологической ниши и методы оценки природного риска // Оценка и управление природными рисками. Материалы Всероссийской конференции «Риск 2003». Том 2. - М.: Изд-во Российского университета дружбы народов, 2003. Том 2. - С. 273 (соавтор А.К.Черкашин).

18. Исследование структуры экологических ниш биогеоценозов горной тайги по космическим снимкам // Дистанционное зондирование поверхности земли и атмосферы. - Иркутск: Изд-во ИСЗФ СО РАН, 2003. - С. 12.

19. Топология пространства ординации растительного покрова в координатах яркостных характеристик многозональных снимков // Дистанционное зондирование поверхности земли и атмосферы- Иркутск: Изд-во ИСЗФ СО РАН, 2003. - С. 19 (соавторы Е.А.Истомина, А.К.Черкашин).

20. ГИС-технологии подготовки и проведения полевых исследований для создания ландшафтных карт на основе космических снимков // Дистанционное зондирование поверхности земли и атмосферы. - Иркутск: Изд-во ИСЗФ СО РАН, 2003. - С. 21 (соавторы Е.А.Истомина, А.К.Черкашин).

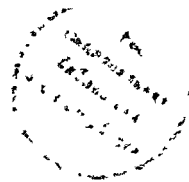
21. Интегрированные ГИС полисистемного картографирования // Интеркарто9: ГИС для устойчивого развития территории. Материалы международной конференции. - Севастополь: 2003. - С. 180-190 (соавторы И.Н.Владимиров, Е.А.Истомина, А.В.Латышева и др.).

22. Принцип подобия функциональных связей при моделировании структуры экологических ниш // Математические и информационные технологии в энергетике, экономике, экологии. Труды всероссийской конференции. Часть 2. - Иркутск: Изд-во ИСЭМ СО РАН, 2003. - С. 103 - 107.

23. Синтез свойств объекта и местных условий размещения при оценке ресурсного потенциала развития территории на основе методов естественной классификации // Закон Российской Федерации «Об охране озера Байкал» как фактор устойчивого развития Байкальского региона. Материалы Международной научной конференции. - Иркутск: Изд-во Института географии СО РАН, 2003. - С. 217 - 219 (соавтор А.К.Черкашин).

24. Особенности представления горно-таежной растительности в яркостных характеристиках многозональных космических снимков // Земля из космоса - наиболее эффективные решения. - Москва: Изд-во Бином, 2003. - С. 162-163 (соавтор А.К.Черкашин).

15.05.2005



Подписано к печати 06.05.2005 г.  
Объем 1 п.л. Тираж 100 экз. Заказ № 314  
Издательство Института географии СО РАН~  
664033, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1

1489