

На правах рукописи

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова
Географический факультет

Хорошев Александр Владимирович

**ПОЛИМАСШТАБНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ
ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ЛАНДШАФТА**

Автореферат диссертации
на соискание учёной степени
доктора географических наук

25.00.23 Физическая география и биогеография, география почв и геохимия ландшафтов

Москва-2017

Работа выполнена на кафедре физической географии и ландшафтоведения географического факультета Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова

Официальные оппоненты: КОЛОМЫЦ Эрланд Георгиевич,

доктор географических наук, профессор, Институт экологии Волжского бассейна РАН, заведующий лабораторией ландшафтной экологии

ДМИТРИЕВ Василий Васильевич,

доктор географических наук, профессор, Санкт-Петербургский государственный университет

МАКАРОВ Владимир Зиновьевич,

доктор географических наук, профессор, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского

Ведущая организация: Институт географии РАН

Защита состоится «18» мая 2017 г. в 15 часов на заседании диссертационного совета Д 501.001.13 на базе Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова по адресу: 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, МГУ имени М. В. Ломоносова, географический факультет, 18 этаж, аудитория 1807.

С диссертацией можно ознакомиться в отделе диссертаций Научной библиотеки МГУ имени М. В. Ломоносова по адресу: Москва, Ломоносовский проспект, д. 27, А8 и на сайте Интеллектуальной Системы Тематического Исследования Научно-технической информации (ИСТИНА МГУ), <http://istina.msu.ru/dissertations/42517428>.

Отзывы на автореферат (в двух экземплярах, заверенные печатью учреждения) просим направлять по адресу: 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, МГУ, географический факультет, ученому секретарю диссертационного совета Д 501.001.13. E-mail: iagorb@mail.ru. Факс: (495) 932-88-32.

Автореферат разослан «___» _____ 2017 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат географических наук, доцент

И. А. Горбунова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Иерархическая организация ландшафта стала одним из основных предметов исследования с ранних этапов развития ландшафтоведения (Раменский, 1938; Солнцев, 1948; Troll, 1950, Christian, 1958 и др.). Десятилетия прошли в поисках «единственно правильной» иерархии. Хотя разработанная к 1950-м гг. система морфологических единиц (Солнцев, 1948, Анненская и др., 1963) оказалась удобной для практики, единства в сообществе ландшафтоведов достигнуть не удалось. Оказалось, что геолого-геоморфологические границы, положенные в основу выделения морфологических единиц, или контролируют не все свойства ландшафта, или контролируют их с разной силой, или на многих территориях выражены настолько нечетко, что ландшафтная карта приобретает оттенок субъективности. К концу XX века ландшафтоведение пришло к осознанию неодинаковости характерных времен компонентов ландшафта (Арманд, Таргульян, 1974; Тишков, 2016) и наличия разнотипных самостоятельных структур, что положило начало концепции полиструктурности (Раман, 1972). Сформировалось понимание, что группы взаимосвязанных свойств ландшафта могут контролироваться одновременно процессами разной природы и разного масштаба. Математическое понятие «корреляционная плеяда» для переменных со статистически достоверными связями стало играть конструктивную роль в ландшафтоведении (Крауклис, Евдокимова, 1975; Коломыц, 1998; Гродзинский, 2014) для распознавания в ландшафтах парциальных «геосистем», «геокомплексов», «структур» (Сочава, 1978; Нееф, 1974, Коломыц, 1998; Solon, 1999). Единый сигнал от внешних факторов может порождать несколько цепочек следствий для разных плеяд в одном и том же пространстве. Стала осознаваться потребность в количественных моделях структуры, позволяющих выявлять скрытые для непосредственного наблюдения формы упорядоченности ландшафтного пространства, которые не укладываются в концепцию морфологической структуры.

Опыт крупномасштабных ландшафтных исследований, в том числе стационарных, показал необходимость распознавать не единственную иерархию (по типу «матрешки»), а множество масштабных уровней, специфических для каждого процесса и контролируемой им плеяды свойств. Становится актуальной проблема количественного разделения вкладов разномасштабных структур в варьирование свойств ландшафта, формализации выделения целостных геосистем. На современном этапе требуется исследовать варьирование тесноты связей и математического вида зависимости в пространстве, что позволит повысить объективность выделения ядер типичности геосистем и переходных зон. Выработка объективных оснований для картографирования разных типов структур направлена на экологически безопасную адаптацию видов угодий к ландшафтной

структуре при территориальном планировании – одной из главных сфер практического приложения географических знаний.

Степень разработанности проблемы. Проблема иерархии и масштабов считается ключевой современной методологической проблемой в науке о ландшафте. Установлено, что для каждого процесса может быть выстроена своя иерархия и для каждого из них свой масштаб может оказаться основным (O'Neill, 1988). Осознание несоответствия между глобальным масштабом изменений природной среды, региональным масштабом принятия решений в области природопользования и локальным и даже точечным масштабом сбора данных о структуре и функционировании ландшафтов (Wu, David, 2002) выдвигает на первый план проблему трансляции информации между масштабами исследования (Turner et al., 2001; Cushman, McGarigal, 2002), определения характерных пространств и масштабов восприятия процессов.

Среди нерешенных проблем ландшафтоведения, на решение которых направлена работа, выделяются следующие.

1) Преобладают модели либо отражающие межкомпонентные отношения только на одном иерархическом уровне, либо отражающие иерархическую организацию какого-либо одного компонента или его свойства. Сути ландшафтоведения более соответствует модели иерархической организации как фактора формирования *плеяд взаимосвязанных свойств*.

2) Ошибки ландшафтного картографирования часто обусловлены слабой разработанностью подходов к количественной оценке соотношения вкладов морфолитогенной основы, самоорганизации компонентов ландшафта и внутрифитоценологических факторов в пространственное варьирование свойств ландшафта.

3) Недостаток количественных методов оценки вклада геосистем высших масштабных уровней в варьирование свойств геосистем низших уровней не позволяет раскрыть механизмы формирования рамочных условий, накладываемых процессами высокого уровня на процессы подчиненных уровней.

4) Существующая практика игнорирования пространственного варьирования видов зависимости и тесноты межкомпонентных связей накладывает ограничения на экстраполяцию информации в целях территориального планирования.

Цель и задачи исследования.

Цель: разработка и апробация эмпирической теории полимасштабной организации ландшафта.

Задачи:

1. Обосновать конструктивность использования концепции ландшафтных плеяд.
2. Определить региональную специфику и общность межкомпонентных связей в ландшафтах; выявить информативные признаки фитоценозов для индикации строения почвенного профиля.
3. Оценить меру зависимости межкомпонентных связей от типологического разнообразия ландшафта; установить пространственные и временные рамки, в которых реализуется каждый тип отношений между свойствами компонентов.
4. Разработать алгоритм выявления масштабных уровней организации разнотипных геосистем для плеяд взаимосвязанных свойств почв и фитоценозов; обосновать репрезентативные размеры единиц полимасштабного ландшафтного картографирования.
5. Получить количественную характеристику вкладов межкомпонентных (внутриуровневых) взаимодействий и морфолитогенной основы геосистем высоких рангов (межуровневых взаимодействий) в пространственное варьирование свойств фитоценозов и почв.
6. Создать картографические модели наиболее вероятных комбинаций свойств компонентов ландшафта на основе информации о межуровневых и межкомпонентных связях.

Предмет исследования – полимасштабная и полиструктурная организация лесных и степных ландшафтов

Объекты исследования – среднетаежные, южнотаежные хвойно-широколиственнолесные и низкогорно-степные ландшафты.

Исходные материалы, личный вклад автора, достоверность результатов.

Полевые материалы собраны в 1994-2016 гг. лично автором или под его руководством при выполнении инициативных проектов РФФИ: в качестве руководителя – 01-05-64822, 05-05-64335, 08-05-00441, 11-05-00954, 14-05-00170; в качестве исполнителя – 96-05-65495, 96-05-65730, 99-05-65097, 99-05-65069, 13-05-00821.

Автором разработана методология полимасштабного анализа структуры ландшафта, проведены расчеты (кроме отдельно оговоренных случаев) и анализ результатов, предложена идея разработки специальных программных средств (реализованы Г.М. Алещенко), проведен анализ литературных данных. Достоверность представленных результатов обеспечивается большим количеством полевых данных (всего – 1757 описаний на 11 полигонах), многолетним характером наблюдений (более 20

лет на ключевом среднетаежном полигоне) и статистической значимостью проведенных расчетов.

Методы исследования. Работа выполнена на основе методов многомерной статистики в рамках функционально-статического направления моделирования в ландшафтоведении, которое описывает механизм функционирования геосистемы через структуру связей на фиксированный момент ее развития.

В основу работы положены данные ландшафтных описаний, заложенных в репрезентативных урочищах изученных ландшафтов, на ряде полигонов – по регулярной сетке. Полевые данные обрабатывались статистическими методами: многомерное шкалирование, метод главных компонент, мультирегрессионный, дисперсионный, дискриминантный, канонический анализ. Обработка цифровых моделей рельефа и многоканальных космических снимков проводилась статистическими методами в программах Fracdim и Arcview 3.2a.

Защищаемые положения.

1. Свойства компонентов ландшафта образуют серию взаимонезависимых плеяд, каждая из которых включена в самостоятельную иерархию геосистем за счет приоритетного подчинения одному из факторов пространственной дифференциации. Значения свойств плеяды варьируют в пространстве в зависимости от интенсивности действия фактора, которая контролируется соотношением вкладов межкомпонентных и межуровневых связей.

2. Теснота связей и виды зависимости между свойствами компонентов варьируют в пространстве вследствие разнообразия комбинаций пространственных элементов геосистем одного или нескольких вышестоящих рангов.

3. При смене сукцессионного статуса ландшафтов изменяются состав плеяд взаимосвязанных свойств и значимость внутрифитоценологических и почвенно-фитоценологических связей для пространственной вариабельности свойств.

4. Наложение эффектов разномасштабных ландшафтных структур порождает геосистемы, разделенные переходными полосами варьирующей ширины и не связанные с геолого-геоморфологическими рубежами. Дискретные и континуальные границы отражаются путем картографирования меры неопределенности классификационной принадлежности.

Научная новизна работы.

1. Разработана процедура выявления межуровневых связей, позволяющая описать зависимость состояния природного комплекса от эффектов, обусловленных взаимодействием пространственных элементов геосистем более высоких масштабных уровней.

2. На основе сравнения вкладов внутриуровневых и межуровневых связей в пространственную дифференциацию лесных и степных ландшафтов установлены информативные признаки и размеры единиц ландшафтного картографирования для каждого масштабного уровня организации.

3. Установлено варьирование состава плеяд взаимосвязанных свойств в зависимости от сукцессионной стадии развития для среднетаежных, южнотаежных и хвойно-широколиственнолесных ландшафтов.

4. Выявлено пространственное варьирование тесноты связей и видов зависимости между компонентами ландшафта; предложен способ идентификации и картографирования мозаичных геосистем-геохор с единым фактором дифференциации.

5. Обоснован способ распознавания дискретных и континуальных ландшафтных границ, формирующихся в результате наложения эффектов разномасштабных структур.

Теоретическая и практическая значимость результатов. Результаты исследования развивают концепцию полиструктурности ландшафта и обосновывают значимость полимасштабного подхода при изучении межкомпонентных связей. Методология полимасштабного анализа применима при ландшафтном картографировании. Полученная информация о характерном пространстве межкомпонентных связей и контролирующих их процессов рассматривается как основа для адаптации ландшафтно-планировочных решений к иерархическим уровням организации ландшафта. Мера согласованности рамочных условий, накладываемых вышестоящими геосистемами нескольких рангов на свойства ландшафтной единицы, может рассматриваться как основание для оценки устойчивости типичных и редких природных комплексов для целей ландшафтного планирования. Результаты исследований применены при составлении среднесрочных планов управления для национального парка «Куршская коса», заповедника «Кологривский лес», разработке проектов «Кологривский модельный лес» и сети охраняемых природных территорий Костромской области. Результаты включены в серию отчетов по договорам о сотрудничестве между географическим факультетом МГУ и государственным заповедником «Оренбургский». Результаты исследований и методические разработки используются для курсов лекций

«Ландшафтное планирование», «Актуальное ландшафтоведение», «Лесное ландшафтоведение» для студентов географического факультета МГУ. Работа выполнялась в рамках НИР кафедры физической географии и ландшафтоведения географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова «Структура, функционирование и эволюция природных и природно-антропогенных геосистем».

Апробация работы. Основные положения и результаты докладывались автором в 1997–2016 гг.

- на 19 международных конференциях в том числе на VII, VIII, IX конгрессах Международной ассоциации ландшафтной экологии (IALE) (Австралия, Нидерланды, Китай), трех европейских конференциях IALE (Швеция, Австрия, Великобритания) и региональных международных симпозиумах по ландшафтной экологии (Словакия, Польша, Чехия, Германия, Дания), на региональной конференции Международного географического союза IGU (Москва), на ландшафтно-географических конференциях в Украине, Белоруссии, Армении.

- на 15 конференциях в России, в том числе на X и XI Ландшафтных конференциях в Москве, XI и XIII съездах Русского географического общества (Архангельск, Санкт-Петербург), на VII Степном форуме (Оренбург), на региональных географических конференциях (Москва, Санкт-Петербург, Архангельск, Иркутск, Воронеж, г. Западная Двина, Кострома, Оренбург, Пермь, Тюмень).

Публикации. Результаты исследований изложены в 84 научных публикациях, в т. ч. 31 статья в изданиях, рекомендованных ВАК для представления материалов диссертационных работ, 2 статьи – в зарубежных рецензируемых журналах, индексируемых WoS, в 4 монографиях (из них 2 в соавторстве), а также в сборниках и материалах конференций.

Структура работы. Работа состоит из введения, четырёх глав, заключения, выводов, списка используемых терминов и сокращений, списка литературы (508 наименований, в том числе 212 на иностранных языках) общим объемом 370 страниц и включает 24 таблицы, 62 рисунка.

Благодарности. На формирование научных взглядов автора большое влияние оказали многолетнее общение и сотрудничество с к.г.н. И.А. Авессаломовой, д.г.н. Ю.Г. Пузаченко, к.т.н. Г.М. Алещенко. Автор признателен заведующему кафедрой

физической географии и ландшафтоведения МГУ К.Н. Дьяконову за поддержку на всех этапах работы. Автор благодарен сотрудникам, аспирантам и студентам географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, внесшим вклад в сбор полевых данных, особенно к.г.н. А.А. Прозорову, И.П. Котлову, К.А. Мерекаловой, А.С. Кошечевой, Е.О. Брусиловской, Р.И. Беккиеву, А.П. Еремеевой, а также к.г.н. Л.Г. Емельяновой, к.г.н. М.А. Хрустальной, дирекции и сотрудникам государственных заповедников «Кологривский лес», «Оренбургский», национального парка «Куршская коса».

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1

СОВРЕМЕННАЯ ПРОБЛЕМАТИКА ИССЛЕДОВАНИЙ СТРУКТУРЫ ЛАНДШАФТА

В рамках концепции полиструктурности ландшафта (Раман, 1972; Нееф, 1974; В.Н. Солнцев, 1981, Боков, 1990; Коломыц, 1998; Solon, 1999; Гродзинский, 2005; Черкашин, 2005) ландшафт представляется как суперпозиция относительно независимых пространственных структур. В последние два десятилетия наблюдается всплеск интереса к *полимасштабности ландшафтных процессов* (King et al., 2004; Turner et al., 2015). Теория иерархической организации ландшафта и полимасштабности подробно рассматривается в работах (Пузаченко, 1986; O'Neill, 1988; Meentemeyer, 1989; Dungan et al., 2002). В русскоязычной географической науке проблему полимасштабности одним из первых поднял В.Н. Солнцев (1981), сформулировавший принцип иерархической полноты геокомпонентного анализа. Разрабатываются методы автоматического выделения пространственных структур на основании объективного выявления скачков дисперсии в континууме масштабов (Wu, Loucks, 1995; Hall et al., 2004; Coueron et al., 2006; Zurlini et al., 2007). Множество работ посвящено влиянию изменения масштаба на результаты анализа пространственной структуры ландшафта (Obeysekera, Rutchey, 1997; Wu et al., 2000, 2004). При анализе процессов в конкретном элементе ландшафта большое значение придается взаимодействию его с соседними и удаленными элементами посредством потоков вещества и энергии (Нееф, 1974; Сочава, 1978; Vasconcelos et al., 1993; Крауклис, 1997; Burnett, Blaschke, 2003). Констатируется необходимость разработки методов разделения вкладов разномасштабных процессов в варьирование характеристик ландшафта (Borcard, Legendre, 2002; Cushman, McGarigal, 2002; Jin Yao et al., 2006).

Глава 2

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИХ ПОДГОТОВКИ К АНАЛИЗУ

Исходным материалом послужили данные ландшафтных описаний в 6 регионах: Устьянский район Архангельской области (средняя тайга), Ханты-Мансийский район Ханты-Мансийского автономного округа (средняя тайга), Кологривский район Костромской области и Костромская область в целом (южная тайга), Кизнерский и Можгинский районы республики Удмуртия и Зеленоградский район Калининградской области (хвойно-широколиственные леса), Беляевский и Кувандыкский районы Оренбургской области (типичные степи) (рис. 1).

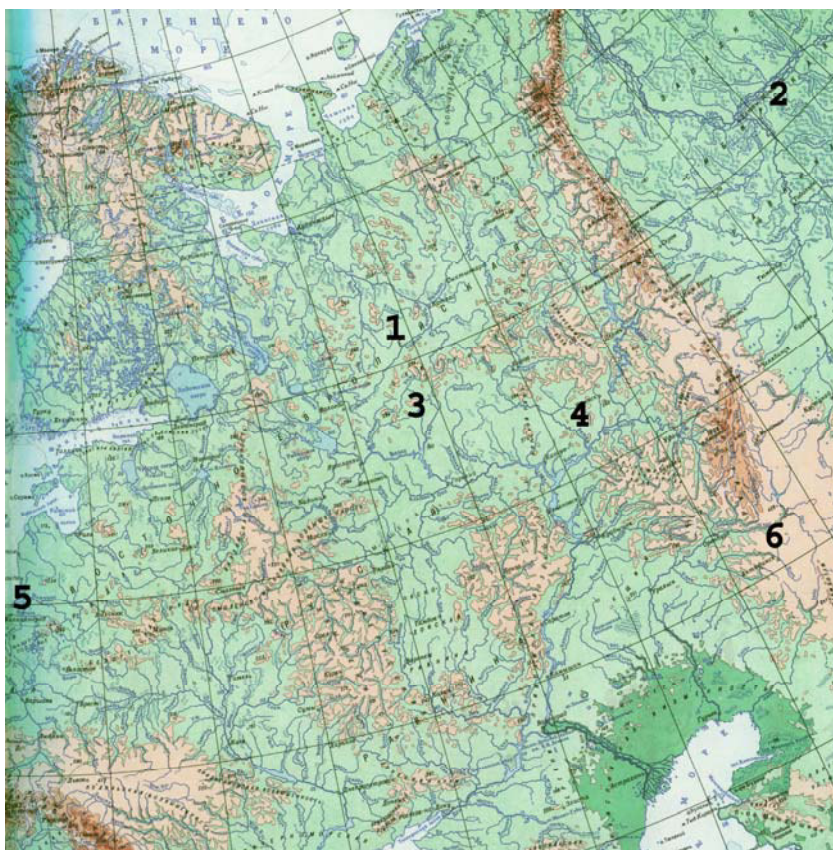


Рис. 1. Расположение полигонов исследования. 1 – среднетаежный ландшафт в Устьянском районе Архангельской области (полигоны «Заячья», «Трансект», «Козловка», «Становская балка», «Медвежий»), 2 – среднетаежный ландшафт в Ханты-Мансийском автономном округе (Обский полигон), 3 – южнотаежные ландшафты в Костромской области (полигоны «Костромская область», «Кологривский», в том числе заповедник «Кологривский лес»), 4 – хвойно-широколиственнолесной ландшафт в Кизнерском и Можгинском районах Удмуртии, 5 - хвойно-широколиственнолесной ландшафт в Зеленоградском районе Калининградской области (национальный парк «Курильская коса»), 6 – типичностепные ландшафты в Беляевском и Кувандыкском районах Оренбургской области (заповедник «Оренбургский»).

В разделе 2.1. приводятся описания ландшафтов, местностей и доминантных урочищ для каждого полигона. Общим для трех основных полигонов (Архангельского, Кологривского и Удмуртского) является наличие глубокорасчлененного рельефа, близость коренных карбонатных пород, наличие чехла четвертичных отложений с максимальной мощностью на междуречьях. Рельеф структурно-эрозионный, но в Костромской и Архангельской областях с участием моренных, водно-ледниковых и озерно-ледниковых отложений, реже — лёссовидных, а на пластовых равнинах Удмуртии — древнеаллювиальных и лёссовидных. Короткие глубокорасчлененные крутые склоны, соседствующие с плоскими междуречьями, свидетельствуют о важной роли неотектонического фактора. Поднятия сопровождается формированием разрывных нарушений, вскрывающих по бортам пласты коренных пород и способствующих разгрузке грунтовых вод. Этот процесс формирует местности с большой вертикальной и горизонтальной расчлененностью рельефа.

В разделе 2.2 содержится информация о *методах полевых описаний и подготовка полевых данных и цифровых моделей рельефа к анализу*. Количество ландшафтных описаний на каждом полигоне составляет в среднем 185. В Архангельской области проведены разномасштабные исследования. Ландшафтный уровень представлен полигоном «Заячья» (184 точки описания в пределах 4 местностей), местностной уровень — «Трансект» (поперек одной местности; для анализа использовано 184 точки со средним шагом 50 м из 309-ти), урочищный — «Медвежий» (181 точка), фациальный — «Козловка» и «Становская балка» (по 100 описаний по регулярной сетке).

Полевые описания проводились в доминантных фациях репрезентативных природно-территориальных комплексов (ПТК) ранга урочищ. Фации рассматривались как носитель свойств содержащей ее операционной территориальной единицы (ОТЕ) в пределах пиксела цифровой модели рельефа (ЦМР).

При полевом описании (в лесных ландшафтах на площадке размером 20x20 м, в степном — 10x10 м) фиксировались следующие исходные признаки: генезис рельефа, форма мезорельефа и микрорельефа, уклон, солярная экспозиция; формула древостоя, средняя высота ярусов, средний и максимальный диаметр, сумма площадей сечений видов деревьев в м²/га, возраст, сомкнутость крон; обилие видов подроста подроста и кустарникового яруса по четырехбалльной шкале, кустарничкового и травяного ярусов — по шкале Друде; проективное покрытие трав и мохово-лишайникового яруса; стандартные сведения о почвенных горизонтах, цвет по шкале Манселла и гранулометрический состав через каждые 5 см до глубины 90-100 см, глубина признаков оглеения, вскипания от НСІ

10%, для Обского полигона – положение кровли сезонно мерзлого слоя (в июне). Суммарное количество исходных показателей варьировало для разных полигонов от 170 до 280.

В дальнейших расчетах фитоценоз рассматривался по 5 группам признаков отдельно по ярусам – древесный, кустарниковый, кустарничковый, травяной, мохово-лишайниковый. Почва характеризовалась 3 группами признаков: а) мобильные – цветочные характеристики через 5 см, б) инертные – мощности генетических горизонтов, в) гранулометрический состав через 5 см как относительно устойчивая характеристика почвообразующей породы.

Для снижения размерности исходные данные преобразованы методом многомерного шкалирования (отдельно в каждой из вышеперечисленных 8 групп признаков). Получены латентные переменные - «оси дифференциации», подчиняющиеся нормальному распределению, что позволяет применять стандартные линейные статистические методы.

Цифровые модели рельефа (ЦМР) составлены на основе оцифрованных изогипс по топографическим картам масштабов 1 : 200 000, 1 : 50 000, 1 : 10 000 методом триангуляции с последующим переводом в формат грид-темы средствами модуля Spatial Analyst ГИС ArcView 3.2a. Размер пиксела (ОТЕ) 10, 30 или 400 м выбирался в зависимости от выдвигаемой гипотезы о масштабных уровнях геосистем. В том же модуле оцифрована гидрографическая сеть (талъвеги постоянных и временных водотоков); векторная тема переведена в формат грид-темы. Для степного полигона была также использована ЦМР SRTM с разрешением 90 м. В специальном модуле программ FRACDIM (автор Г.М. Алещенко) в скользящем квадрате (сторона 3, 5, ..., 15 пикселов) рассчитаны: вертикальная расчлененность рельефа как стандартное отклонение высот; горизонтальная расчлененность как сумма длин талъвегов; вертикальная кривизна; горизонтальная кривизна. Рассчитанные значения присваивались центральной ОТЕ квадрата. Программа FRACDIM использовалась для расчета факторов дифференциации растительного покрова методом главных компонент на основе данных многоканальной космической съемки Landsat 7, последующей классификации растительного покрова методом к-средних, классификации ОТЕ по рельефу.

Визуализация результатов осуществлялась средствами ГИС ArcView 3.2a. Файл со стандартизованными значениями морфометрических показателей рельефа объединялся с файлом данных полевых измерений для анализа межкомпонентных связей в программе Statistica 7.0.

Глава 3

ТЕОРИЯ И МЕТОДОЛОГИЯ ПОЛИМАСШТАБНОГО АНАЛИЗА СТРУКТУРЫ ЛАНДШАФТА

В разделе 3.1 дана **геосистемная интерпретация полимасштабного подхода к анализу структуры ландшафта**. Рассмотрено пять групп систем.

Первая группа систем состоит из признаков *одного компонента* ландшафта, находящихся в отношениях *конкуренции*. Признаки могут быть представлены в ПТК по одному либо в некотором соотношении. Переход после снижения размерности от исходных признаков к латентным переменным – «осям» – позволяет описать соотношение двух групп признаков, каждая из которых в оптимальных условиях может вытеснить другую. Такое соотношение ниже рассматривается как «свойство» – чувствительность группы признаков к экологическому фактору.

Вторая группа – системы *межкомпонентных взаимодействий*, относящиеся к типу «дополнительных» (А.Д. Арманд, 1988), т.е. состоящие из обычно не существующих друг без друга контрастных составных частей. В качестве элементов рассматриваются свойства компонентов ландшафта, связанные радиальными потоками вещества и энергии.

Третья группа – это *территориальные системы* сопряженных ПТК, представителями которых являются ОТЕ. Взаимодействующие пространственные элементы системы совместно контролируют свойство каждого ПТК в ее пределах.

Четвертая группа отражает отношения *между системой более высокого ранга и заключенной в ее пределах системой низкого ранга*. Системообразующими являются «связи фоновой субординации» (Боков, 1990).

Пятая группа систем – *территориальные системы соседствующих ПТК*, связанных *единым типом межкомпонентных отношений*. Такая система представляет ареал систем второй группы со свойственной ей «суммативной» (Боков, 1990) целостностью – геохору с единым системообразующим процессом (например, движением грунтовых вод), но с разной силой проявления в разных пространственных элементах. Частным случаем может быть каскадная ландшафтно-геохимическая система.

Наличие разнотипных геосистем в одном и том же пространстве трактуется как полиструктурность ландшафта. Одновременное подчинение свойств компонентов разномасштабным процессам и явлениям в геосистемах разных типов трактуется как *полимасштабная организация географического ландшафта*.

В разделе 3.2. описываются две группы **причин пространственных различий** свойств компонентов ландшафта. Первая группа – варьирование под действием свойств

других компонентов на уровне ОТЕ, т.е. «внутриуровневые связи» (рис. 2, Б). Вторая группа – «межуровневые связи», т.е. влияние разнотипных геосистем более высокого масштабного уровня (ниже - «вмещающих геосистем»), необязательно находящихся в иерархическом соподчинении (рис. 2, В, Г). Они состоят из множества ОТЕ, которые в совокупности создают эффект, не свойственный каждому элементу по отдельности. Ему в работе придается ключевое значение. *Основной сюжет исследования — сравнение вкладов внутриуровневых и межуровневых связей в формирование пространственных различий.*

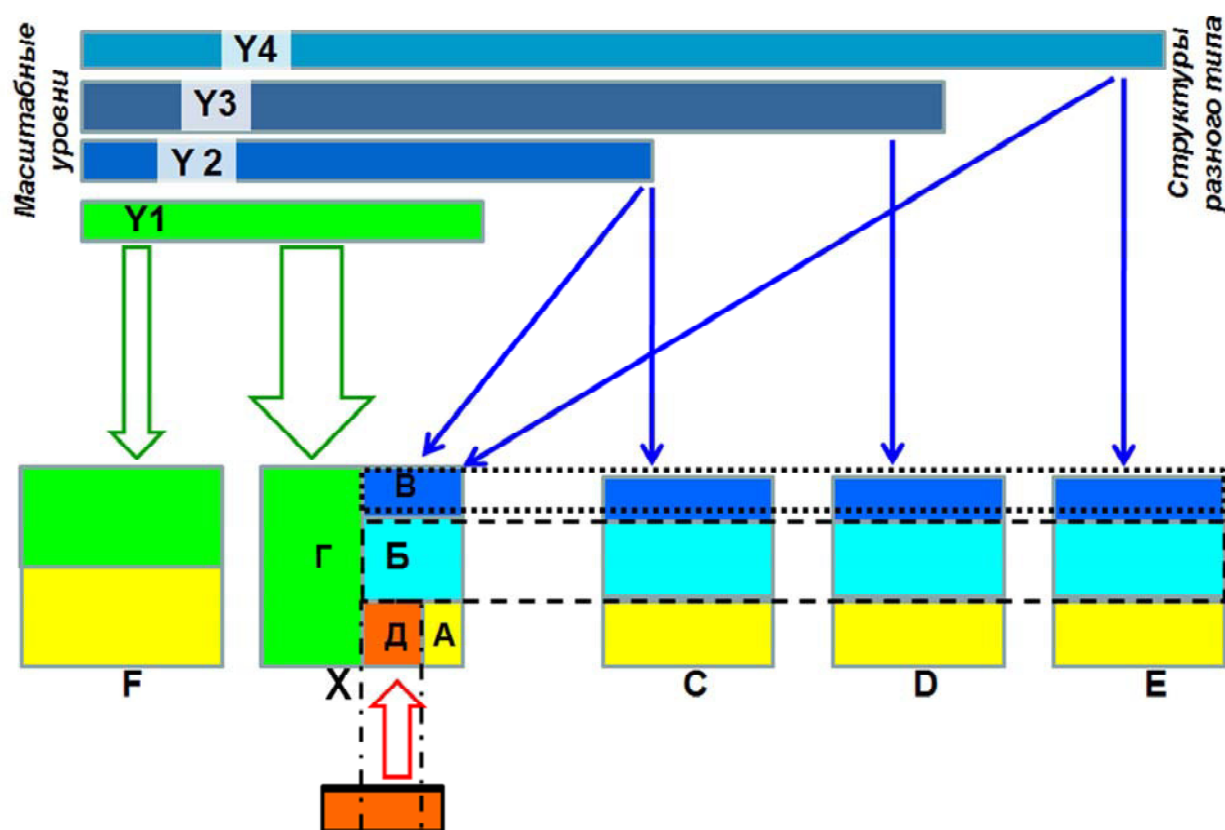


Рис. 2. Схема разделения вкладов в дисперсию свойства X.

C, D, E, F – свойства других компонентов ландшафта. Y1, Y2, Y3, Y4 – вмещающие разнотипные надсистемы разных масштабных уровней, задающие диапазон допустимого варьирования для свойств. А...Д – составляющие части дисперсии свойства X. А - Дисперсия случайного варьирования свойств. Внутриуровневые связи: Б - дисперсия взаимосвязанного развития компонентов. Межуровневые связи: В - Дисперсия, связанная с другими компонентами, но контролируемая вмещающими геосистемами нескольких уровней. Г - Дисперсия, обусловленная вмещающими геосистемами. Д - Дисперсия подсистем.

В разделе 3.3. обоснован подход к **выбору операционной территориальной единицы и масштаба.** Требуется определить размеры пространства, при изменении структуры которого меняются свойства ОТЕ. Размер ОТЕ выбирался в зависимости от проверяемой гипотезы о масштабном уровне взаимодействия компонентов ландшафта. Сопоставление тесноты межкомпонентных связей, рассчитанных при разном размере ОТЕ, позволяет сделать заключение о значимости того или иного иерархического уровня для объяснения причин пространственного варьирования свойств геосистем.

В разделе 3.4. описано решение **проблемы снижения размерности данных.** Применяемый метод многомерного шкалирования позволяет выделить ограниченное число новых некоррелированных латентных переменных: «*факторов*» (когда речь идет об экологических причинах пространственных различий), или «*осей*» (когда рассматриваются количественные показатели силы фактора в ОТЕ). Расчет осуществлялся на основе таблиц непараметрических корреляций Гамма между исходными переменными, преобразованных в матрицы дистанций. Получены меры чувствительности каждого исходного признака к некоррелированным осям (ниже - «свойствам»). Координаты положения точек на осях экологических факторов определены на основе решения системы уравнений:

$$y_i^j = a_{1i}x_1^j + a_{2i}x_2^j + a_{3i}x_3^j + a_{4i}x_4^j, (1)$$

где y_i^j — известное значение переменной i в точке (элементе) j , $a_{1i} \dots a_{4i}$ — значение коэффициента чувствительности переменной i при координатах $x_{1 \dots 4}$, определенное в результате решения задачи многомерного шкалирования (Пузаченко, 2004).

Координаты ОТЕ на оси отражают результат конкурентных отношений нескольких признаков с противоположной реакцией на экологический фактор (система 1-й группы, см. раздел 3.1). В силу многофакторности каждая ОТЕ охарактеризована координатами на 4 осях для каждой из 8 групп исходных признаков.

В разделе 3.5. рассмотрены **проблемы и способы интерпретации межкомпонентных связей.** В ландшафтоведении принято различать «связи-отношения» и «связи-взаимодействия» (В.Н. Солнцев, 1977). Имеющиеся данные позволяют анализировать в основном «связи-отношения», которые необязательно свидетельствуют о причинно-следственных связях. Исследуется проблема статистически «слабых» межкомпонентных связей. Рассмотрены следующие причины: 1) зависимость от стадии развития геосистемы; 2) неодинаковые характерные времена компонентов; 3)

естественная динамика, не обусловленная условиями среды; 4) разномасштабность процессов.

Для решения задач № 1-2 диссертации исследование межкомпонентных внутриуровневых связей (система 2-й группы) проводилось в трех вариантах: а) для пар свойств, б) для отношений индивидуального свойства с группой свойств, в) для отношений двух групп свойств. Для пар индивидуальных свойств, выраженных через значения осей дифференциации, рассчитывались *непараметрические коэффициенты корреляции Спирмена*. Для исследования связей между индивидуальным свойством и группой свойств выбран *метод «регрессии поверхности отклика» (Response surface regression)*. Применяемая модель имеет вид:

$$Y = b_0 + \sum b_n X_n + \sum b_k X_n^2 + \sum b_z X_n X_m \pm \varepsilon, \quad (2)$$

где Y — координата на оси дифференциации того или иного компонента ландшафта (т.е. на экологическом градиенте), $X_{n(m)}$ — координаты свойств другого компонента на значимой для него оси дифференциации, $b_{n(k,l)}$ — регрессионные коэффициенты, ε — стандартная ошибка расчета (мера случайного варьирования).

Модель (2) позволяет установить: а) долю объясненной дисперсии (по коэффициенту детерминации r^2 (КД)); б) неаддитивные эффекты совместного действия двух факторов; в) диапазоны значений свойств предиктора, при которых реакция зависимого свойства противоположна (по значимости коэффициентов при членах типа $b_k X_n^2$ и по точечным графикам); г) вклады факторов в варьирование зависимой переменной. По КД оценивается мера зависимости переменной Y от совокупного воздействия ряда факторов. На основании регрессионных коэффициентов проводится классификация территории по видам зависимости между свойствами.

Рассчитаны КД уравнений, описывающих зависимость каждой из 4-х осей дифференциации группы признаков (древостой, травостой, мощности почвенных горизонтов и т. д.) от совокупного действия 4-х осей каждой из остальных групп. Сравнивались осредненные КД, характеризующие связи данной группы признаков с остальными группами для каждого полигона и между исследованными регионами.

Для определения общности экологических факторов для двух групп свойств использованы *канонические корреляции*.

В разделе 3.6. обоснован подход к исследованию **эффектов межкомпонентных взаимодействий**. Признак компонента (например, обилие вида травостоя) не все информационные сигналы от других компонентов воспринимает напрямую. Часть этих

сигналов воспринимается опосредованно. Поэтому требуются модели, которые исследуют зависимость конкретного свойства компонента (как реакции на положение на экологическом градиенте) от всей совокупности свойств другого компонента, которая отражает совместное влияние на него множества независимых факторов. Доказанная достоверная связь между свойствами компонентов может служить индикатором наличия единого правила варьирования компонентной структуры, действующего для некоторой территории, размеры и конфигурацию которой предстоит выяснить. В связи с задачей № 4 предлагается понятие *характерное пространство «внутриуровневых» межкомпонентных связей*. Оно расширяет существующие в географии представления о характерном пространстве (Пашенко, 1993; Тишков, 2016) и определяется: а) размером ОТЕ; б) размером мозаичной территории (*геохоры*), в пределах которой значения группы свойств сопряженно варьируют в пространстве под действием единого фактора, что описывается единым уравнением (система 5-й группы) (рис. 3).

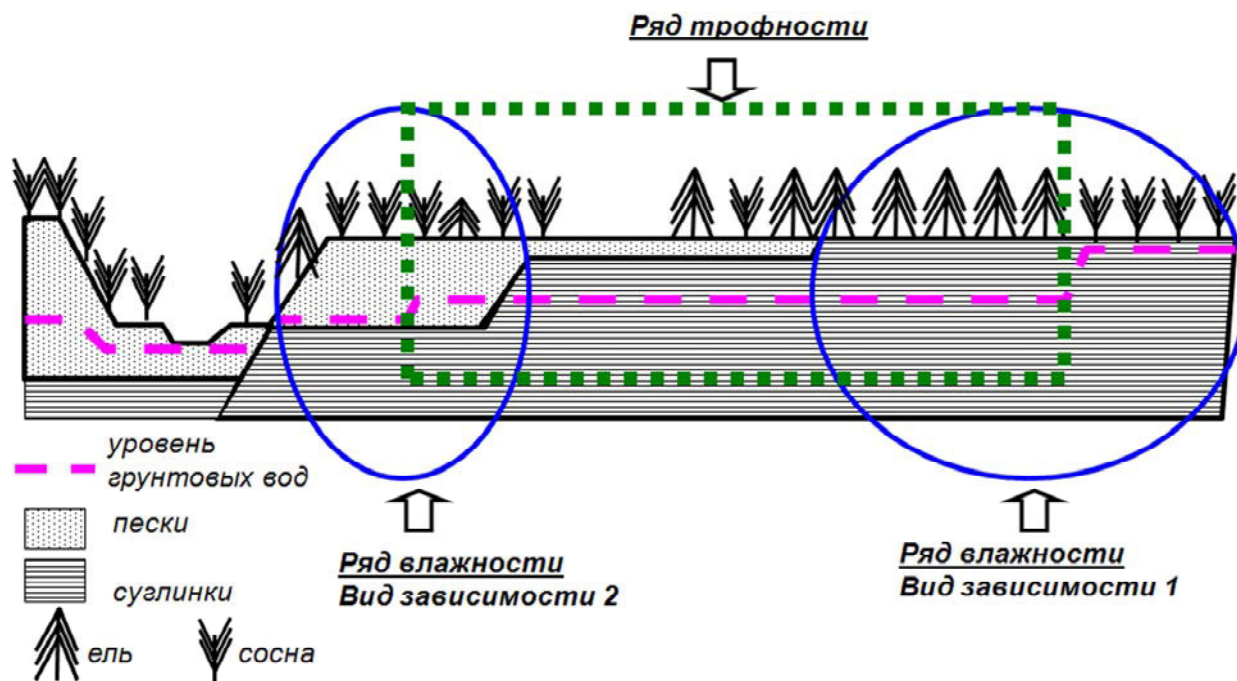


Рис. 3. Полиструктурность ландшафта и геохоры. Соотношение обилия ели и сосны в древостое контролируется двумя факторами: влажности и трофности. Ряд влажности: Вид зависимости 1 – обилие ели падает, обилие сосны растет при понижении уровня грунтовых вод. Вид зависимости 2 – обилие ели растет, обилие сосны падает при понижении уровня грунтовых вод. Ряд трофности – обилие ели падает, обилие сосны растет при росте мощности песчаной толщи. Границы разнотипных геохор показаны разными геометрическими фигурами с цветным окаймлением. Границы однотипных геохор, но с разными видами зависимости, показаны овалами с синим окаймлением.

Для выявления совокупных эффектов воздействия группы свойств и границ геосистем с единым видом зависимости между свойствами применялись следующие методы. Сравнение качества (КД и уровня значимости p) линейных уравнений и уравнений регрессии поверхности отклика проводилось для оценки дополнительного вклада в объяснение дисперсии Y составляющих типа $b_1X_nX_m$ (неаддитивная составляющая) и типа $b_kX_n^2$ в модели (2). Варьирование состава выборки применено для определения иерархического уровня геосистем, на котором проявляется межкомпонентная связь, и для описания диапазона ландшафтных условий, при которых она реализуется. Для серии выборок, охватывавших разные уровни типологического разнообразия, производился перерасчет модели (2) и оценка приращения ее качества по коэффициенту детерминации r^2 , при $p=0,05$. Анализ «остатков» (*residuals*) регрессионных уравнений использован для выявления группы геосистем, которая в наилучшей степени подчиняется выявленной зависимости (задача № 3). Территории, в пределах которых разности между наблюдаемыми и предсказанными значениями близки к 0 при высоком значении КД, интерпретируются как ряд геосистем, обладающих взаимной адаптацией компонентов, вдоль какого-либо экологического градиента.

В разделе 3.7. обоснован подход к выявлению **эффектов взаимодействия геосистем разных масштабных уровней** (задача № 4). Отношения ОТЕ и вмещающей геосистемы характеризуют систему 4-й группы со связями субординации. Объединение подобных систем в серию с единым видом зависимости образует систему 5-й группы – геохору.

Представленная работа ограничивается анализом лишь одной из возможных характеристик пространственной структуры вмещающей геосистемы – мозаичности рельефа. Поле абсолютных высот интерпретируется в трех аспектах: 1) как индикатор трехмерного геологического тела (результата потоков вещества прошлых эпох) и современных радиальных потоков элементов минерального питания; 2) как условие современных латеральных водных потоков; 3) как условие антропогенной активности. На примере данных полигона «Трансект» доказаны высокие корреляции вертикальной и горизонтальной расчлененности рельефа с уровнем грунтовых вод, что позволяет рассматривать их как условие формирования поля гигротопов в ландшафте. Вертикальная и горизонтальная кривизна позволяют охарактеризовать положение ОТЕ относительно зон аккумуляции и рассеяния вещества.

Предполагается, что если изменятся (в нашем случае – в пространстве) морфометрические характеристики рельефа в окрестности ОТЕ, то должны измениться и свойства самой ОТЕ. По мере увеличения окрестности проверяется серия гипотез о том, что ОТЕ зависит от более крупных геосистем. Принципиально, что значимые для свойства ОТЕ процессы во вмещающих геосистемах могут иметь разную природу; поэтому вмещающие геосистемы необязательно вложены друг в друга. По этой причине для обозначения их неодинаковых размеров используется термин «масштабный уровень», а не «иерархический уровень».

Составляются модели (3), связывающих координаты ОТЕ на каждой оси дифференциации, с морфометрическими свойствами окрестностей разного размера поочередно. Та окрестность ОТЕ, при которой КД максимален, интерпретируется как *характерное пространство процесса*, ответственного за дифференциацию того или иного свойства. Ее размер трактуется как *размер вмещающей геосистемы*, содержащей ОТЕ. На выходе получаем классификацию свойств компонентов ландшафта по чувствительности к масштабным уровням вмещающих геосистем, а, следовательно, и к процессам, ответственным за обособление вмещающих геосистем. *Классификация рельефа по морфометрическим свойствам каждого уровня становится не только геоморфологическим результатом, но и приобретает комплексное ландшафтное содержание.*

Поскольку связь можно выявить только на основании большого количества пространственных единиц, то параллельно мы выявляем *ареал ОТЕ с единым видом зависимости между свойствами* (задача № 3), одно из которых считается зависимым от свойств вмещающей геосистемы (например, уровень грунтовых вод), а другое – результатом адаптации к первому (например – соотношение ели и сосны). Частный случай задачи возникает при наличии двух массивов континуальных данных. Зависимой переменной является свойство растительного покрова, измеренное по космическому снимку в ОТЕ, предикторами – морфометрические свойства рельефа в некоторой окрестности ОТЕ. Расчет ведется для массива, включающего все ОТЕ внутри скользящего окна. Результат присваивается центральной ОТЕ окна. Каждая ОТЕ характеризуется набором параметров модели (например, коэффициентов регрессионного уравнения и доли объясненной дисперсии). Классификация ОТЕ по параметрам модели позволяет выделить ареалы с разными видами зависимости между их собственными свойствами и свойствами вмещающей геосистемы. Подбирается такой размер скользящего окна, при котором КД максимален. Таким способом установлен размер геохоры, в пределах которой свойства связаны по единому правилу и подчиняются

единому процессу. Разработанный подход по смыслу близок к методу географически взвешенной регрессии.

Метод «резонансных уровней» — основной для решения задачи № 4 — предложен для определения масштабных уровней вмещающих геосистем, свойства которых контролируют состояние ОТЕ. Строятся уравнения «регрессии поверхности отклика»

$$Y = b_0 + \sum b_n X_n + \sum b_k X_n^2 + \sum b_z X_n X_m \pm \varepsilon, \quad (3),$$

аналогичные моделям вида (2), с той разницей, что $X_{n(m)}$ теперь — одна из 4-х морфометрических характеристик рельефа в окрестности, размер которой отражает гипотезу о размере вышестоящей контролирующей геосистемы. Для определения размеров вмещающих геосистем сравнивались КД, полученные в уравнениях при разных размерах квадратных окрестностей со стороной, в 3, 5, ..., 15 раз превышающей размер стороны ОТЕ.

Метод варьирования разрешения цифровой модели рельефа посредством модели (3) решает обратную задачу по отношению к методу резонансных уровней. Подлежат сравнению модели связей, построенные для ОТЕ разного размера при одинаковом размере вмещающей геосистемы.

Метод расчета варьирующих регрессионных коэффициентов и классификация пространственных единиц по регрессионным коэффициентам позволяет разделить территорию на геосистемы с единством типа отношений между компонентами, для которых имеются континуальные данные (задача № 3). В известных методах выявления иерархических уровней индикатором перехода на новый уровень считается резкий рост дисперсии свойства при достижении некоторого порога территориального охвата (Нану et al., 2001; Уи, 2004). В нашей работе решается более сложная задача: анализируется сопряженное изменение в пространстве сразу нескольких свойств. Для этого строилась серия линейных мультирегрессионных уравнений вида

$$Y = b_0 + \sum b_n X_n \pm \varepsilon, \quad (4)$$

где Y — свойство растительного покрова, выраженное через факторное значение одной из латентных переменных, полученных методом главных компонент как линейная комбинация оптических плотностей в каналах космического снимка; X_n — морфометрическая характеристика рельефа в окрестности, остальные обозначения — такие же, как в модели (2). Процедура расчета в скользящем квадрате позволяет отразить на карте варьирование тесноты межуровневых связей и выявить ареалы, где компоненты наиболее жестко адаптированы друг к другу. Дихотомическая классификация

стандартизованных коэффициентов регрессии ВЕТА методом к-средних позволила устанавливать общность ОТЕ по виду зависимости, т.е. по классу комбинаций регрессионных коэффициентов. Фактически выявляются геохоры, различные по набору факторов внутренней дифференциации.

В разделе 3.8. изложен подход к решению проблемы **разделения вкладов внутриуровневых и межуровневых связей** (задача № 5). Измеренное в поле значение признака ландшафта (например, обилия вида растения), как правило, отражает результат суперпозиции множества факторов. Поэтому оно не дает однозначной информации об истинном положении точки на оси экологического фактора (например, влажности). Связи могут отражать совместный эффект: а) варьирования, детерминированного вмещающей геосистемой (зависимость от свойств пространства), и б) независимого от пространства сопряженного варьирования двух свойств, отражающего их взаимовлияние или одностороннее влияние, т.е. саморазвитие.

В качестве способа разделения вкладов детерминированных свойств и саморазвития предложен *метод суперфакторов* (рис. 4). Он предусматривает построение единого факторного пространства для объединенного массива данных о координатах ОТЕ на «осях» дифференциации компонентов и о свойствах рельефа разномасштабных вмещающих геосистем. Тогда методом главных компонент можно установить группы свойств, управляемые некоррелированными факторами. Выделяются взаимонезависимые *суперфакторы* – линейные комбинации переменных-осей, — которые делятся на три группы. Первая группа суперфакторов объединяется высокими факторными нагрузками для морфометрических характеристик рельефа вмещающих геосистем и некоторых почвенно-фитоценологических свойств ОТЕ. Тем самым описывается сопряженное варьирование свойств, контролируемых *межуровневыми связями, т.е. зависимых от свойств вмещающих геосистем* (рис. 2, В, Г). Вторая группа суперфакторов имеет близкие к нулю факторные нагрузки для рельефа, но большие по модулю – для почвенно-фитоценологических свойств, то есть отражает *внутриуровневые межкомпонентные взаимодействия* (рис. 2, Б). Некоторые свойства компонентов могут иметь высокие нагрузки по двум группам суперфакторов, что отражает их участие в обоих типах взаимодействий. Третья группа описывает случайное варьирование свойств компонентов (рис. 2, А).

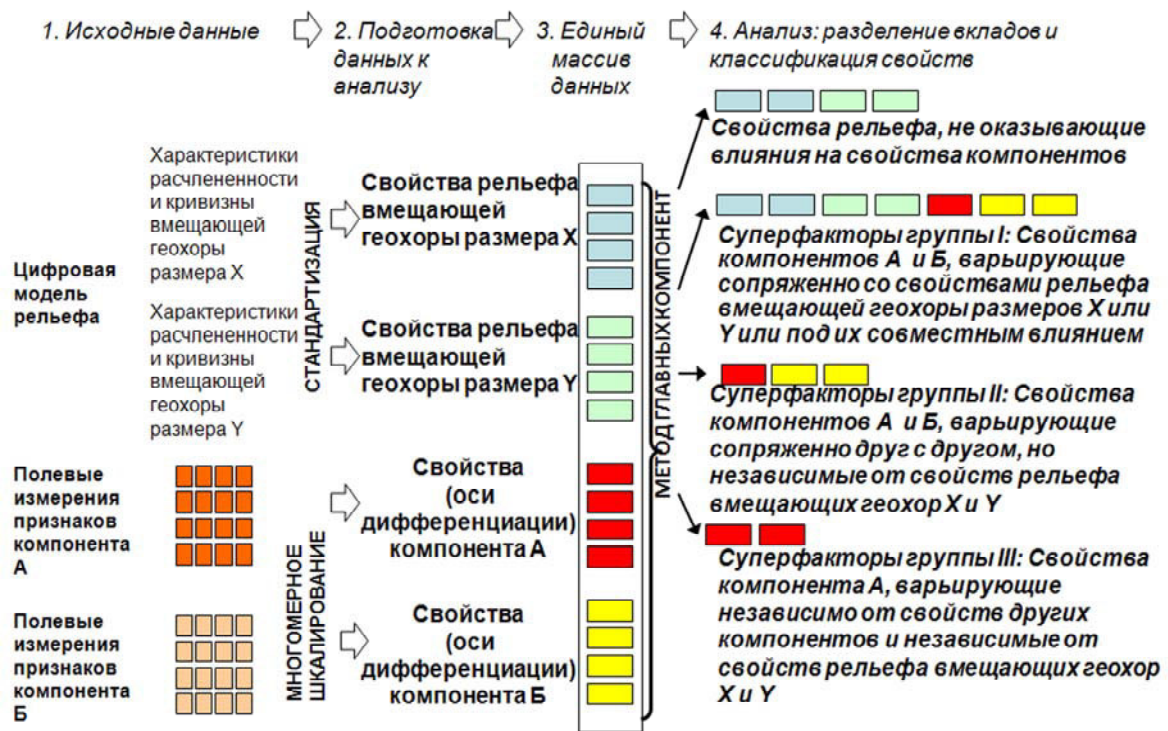


Рис. 4. Схема разделения вкладов факторов пространственного варьирования свойств компонентов (метод суперфакторов).

Составляются серии моделей регрессии поверхности отклика по типу (2) для каждого свойства:

$$D_{nk} = \Phi(F1, F2, F6, F8), \quad (5)$$

где D_{nk} – значение свойства компонента n на оси k , $F_{1,2,6,8}$ – значения первой группы суперфакторов (номера условные), описывающих комбинированный эффект вмещающих геосистем.

Аналогичная модель

$$D_{nk} = \Phi(F3, F4, F5, F7), \quad (6)$$

составляется для вклада второй группы суперфакторов, описывающих комбинированный эффект свойств других компонентов, независимых от рельефа вмещающих геосистем. Сравнение КД моделей (5) и (6) (при $p < 0,05$) позволяет получить ответ на следующий вопрос. Какая группа факторов вносит более значимый вклад в варьирование свойства: обусловленных морфолитогенными свойствами вмещающих геосистем или обусловленных межкомпонентными взаимодействиями независимо от вмещающих геосистем? КД модели (5) для конкретного свойства сравнивается с КД моделей (3), описывающих зависимость свойства от рельефа вмещающих геосистем разного размера по отдельности. Если КД модели (5) больше, чем любой из КД моделей (3), то существует комбинированный эффект влияния вмещающих геосистем нескольких

масштабных уровней. В ином случае подтверждается гипотеза о доминирующем влиянии вмещающей геосистемы только одного масштабного уровня. По аналогии, если КД модели (6) больше, чем любой из КД моделей (2), то существует комбинированный эффект нескольких компонентов на описываемое свойство. В ином случае подтверждается гипотеза о доминирующем влиянии какого-либо одного компонента на данное свойство.

В разделе 3.9 описана **программа синтеза парциальных геосистем**. Поскольку важнейший смысл ландшафтно-географического исследования состоит в выявлении и разграничении на местности целостных образований, предложена следующая программа для решения задачи работы № 6. Эта программа включает процедуры, описанные в предыдущих разделах, и некоторые дополнительные расчеты.

На первом шаге идентифицируются парциальные компонентные геосистемы по принципу приоритетной отзывчивости некоторой группы свойств почвенно-растительного покрова (ПРП) к одному и тому же масштабному уровню вмещающих геосистем (если таковой выявлен для этой группы). Границы геосистемы определяются на основе классификации ОТЕ по свойствам рельефа вмещающей геосистемы. Целесообразное количество классов рельефа определяется методом дискриминантного анализа по перегибам графика зависимости «количество классов – доля корректно классифицированных ОТЕ». Результатом является *двухуровневая* картографическая модель, поскольку она строится на основании значимых связей между свойствами ОТЕ (первый уровень) и свойствами вмещающей геосистемы (второй уровень).

На втором шаге на основании непараметрических корреляций выявляются плеяды взаимосвязанных свойств ландшафта. В каждой плеяде для каждого свойства методом суперфакторов установлено соотношение вкладов внутриуровневых и межуровневых связей. По результатам сравнения вкладов принимается решение, есть ли необходимость в *многоуровневом* картографировании, учитывающего рамочные условия со стороны вмещающих геосистем одновременно *нескольких* уровней.

На третьем шаге производится поиск оптимальной мультирегрессионной модели вида (2), отражающей сопряженное варьирование свойств, входящих в каждую плеяду. Члены плеяды поочередно ставятся на место зависимой переменной, а остальные выступают как независимые. Выбирается достоверное уравнение с максимальным КД.

На четвертом шаге определяются интервалы значений признаков, при которых достигается максимальное качество модели связей в плеяде (остатки близкие к 0) и соответствующая геохора, внутренняя мозаичность которой определяется разной силой

проявления одного и того же фактора.

На пятом шаге геохора разделяется на пространственные единицы (индивидуальные парциальные геосистемы) относительно монотонные по свойствам, входящим в рассматриваемую плеяду. Полевые описания классифицируются методом к-средних по этим свойствам. Средствами дискриминантного анализа определяется, какой класс сочетаний свойств ПРП с наибольшей вероятностью может существовать при комбинации свойств рельефа вмещающих геосистем для каждой ОТЕ.

На шестом шаге оценивается степень неопределенности в проведении границ индивидуальных парциальных геосистем. На основании вероятностей формирования каждого класса ПРП в каждой ОТЕ рассчитывается мера неопределенности классификационной принадлежности (НКП) по формуле Шеннона:

$$НКП = -\sum p_i * \log(p_i), \quad (7)$$

где p_i – вероятность принадлежности к классу. Полученные значения вероятностей и НКП наносятся на карты. Полосы с повышенной НКП трактуются как континуальный переход между контрастными классами геосистем для данного масштабного уровня. Внутри такой полосы могут существовать дискретные границы другого масштабного уровня, что требует для нее более детальных исследований.

Совокупность описанных процедур составляет *полимасштабный анализ структуры ландшафта* (рис. 5).

В разделе 3.10 определено место предлагаемой методологии среди подходов к **объективизации выделения геосистем и ее предметные и региональные ограничения**. Прежде чем иметь основания для выделения ландшафтных единиц по рельефу, следует строго определить, *какие именно свойства* компонентов ландшафта обусловлены процессами, контролируруемыми рельефом. В отличие от большинства методик (Пузаченко и др., 2002; Сысуев, 2002; Ласточкин, 2011), предлагается предварительно классифицировать свойства по степени подчиненности рельефу для разных масштабных уровней. Для объяснения варьирования свойств, которые к рельефу «безразличны», необходимо будет применять другие подходы, например биогеоценотические или литогеохимические. Таким образом, предлагаемая последовательность процедур *предваряет выбор корректной «траектории» моделирования процессов массоэнерготранспорта*.

Результаты основаны на единовременных наблюдениях, представляющих собой только один временной «срез» состояний ландшафта, который в идеале желательно дополнить и другими. Из разных типов ландшафтных структур основное внимание сосредоточено на тех, которые наиболее близки к геостационарным и косвенно –

геоциркуляционным (по В.Н. Солнцеву, 1997). Для исследования биоциркуляционных структур использованных показателей расчлененности рельефа недостаточно. Для биоцентрично-сетевых структур ландшафта (по М.Д. Гродзинському, 2014) предложенные подходы применимы с той разницей, что вместо характеристик рельефа окрестность ОТЕ должны характеризоваться мерами разнообразия и фрагментации ландшафтного покрова.

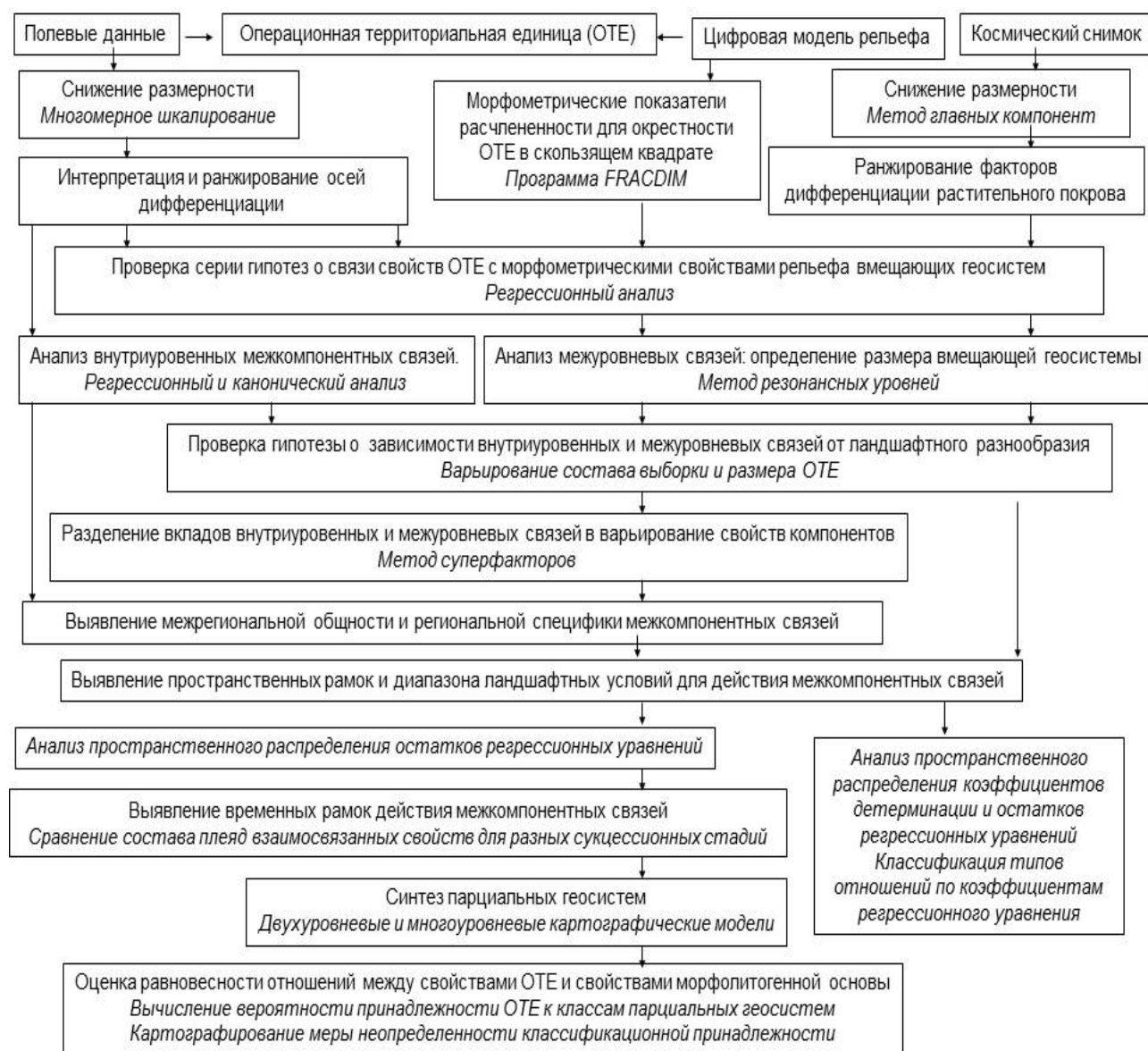


Рис. 5. Процедура полимасштабного анализа структуры ландшафта.

Глава 4

ПОЛИМАСШТАБНЫЙ АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ ЛАНДШАФТА

В разделе 4.1 представлена интерпретация физического смысла осей дифференциации свойств компонентов и иллюстрируется ранжирование экологических факторов. 1-м или 2-м по значимости факторами для всех компонентов во всех регионах являются влажность и трофность. Ось трофности определяет основную часть варьирования видового состава древесного яруса на всех полигонах кроме Обского, кустарникового — на Архангельском и Куршском полигонах, травяного — на Архангельском, Обском, Костромском полигонах. Ось влажности является главной во всех регионах для кустарничкового и мохово-лишайникового ярусов и строения почвенного профиля. Сукцессионный фактор для древостоя выходит на первое место для Архангельского полигона, где контролирует соотношение еловых и березово-сосновых сообществ. В южной тайге и хвойно-широколиственных лесах наблюдаемая структура даже вторичного фитоценоза может служить индикатором увлажнения. На отдельных полигонах существенное значение имеют оси опесчаненности почв, освещенности, промерзания.

В разделе 4.2. приводятся результаты межрегионального анализа внутриуровневой компонентной структуры (задачи № 1-2). Во всех регионах обособляются нескольких взаимонезависимых или слабо связанных друг с другом плеяд (рис. 6). Травяной и кустарниковый ярусы имеет высокую общность контролирующих факторов с древостоем и друг с другом. Кустарничковый и мохово-лишайниковый ярусы с травостоем связаны гораздо слабее. В средней тайге сопряженность свойств травостоя с почвенным профилем ниже, чем с древостоем и кустарниковым ярусом, что связано с отставанием набора и мощности почвенных горизонтов от сукцессионных изменений фитоценозов (этап инерционной устойчивости мутапедогенеза, по А.Н. Геннадиеву, 1990). Внутрифитоценотические связи в средней тайге сильнее, чем в южной тайге и в хвойно-широколиственнолесной зоне. В южной тайге общность факторов дифференциации ярусов фитоценоза и строения почв гораздо ниже, чем в средней тайге; наблюдается взаимонезависимость мохового и травяного ярусов. Хвойно-широколиственные леса выделяются повышенной сопряженностью свойств почв с видовым составом древесного и кустарникового ярусов.

Наилучшие фитоценотические индикаторы строения почвенного профиля различаются по регионам. В заболоченной средней тайге Западной Сибири наилучшими

индикаторами служат виды мхов, в средней тайге Архангельской области и в южной тайге – виды трав и кустарничков, в хвойно-широколиственных лесах – виды деревьев и кустарников. Например, в Архангельской тайге доминирование таволги вязолистной или сныти индицирует мощность горизонта EL не более 10 см и AY – не менее 10 см; обилие брусники сор₁₋₂ соответствует мощности горизонта EL не менее 20 см и AY не более 5 см.

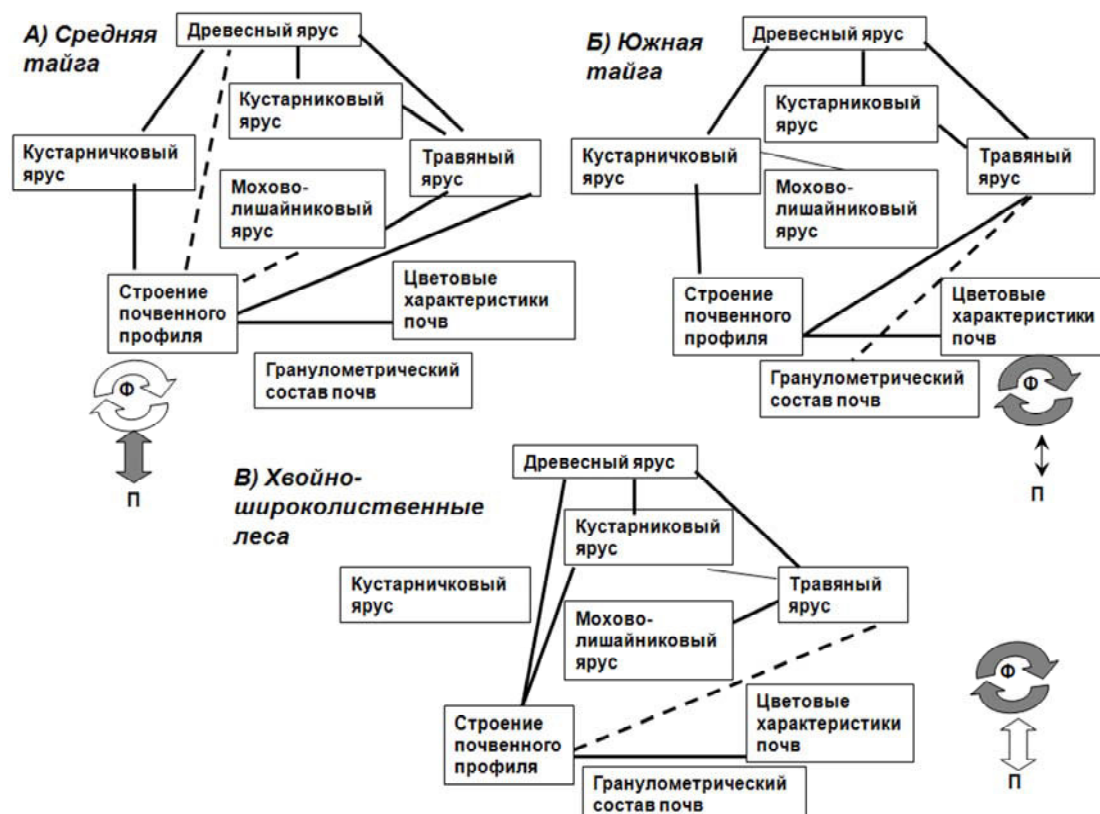


Рис. 6. Зональная специфика внутриуровневых межкомпонентных связей в средней тайге (А), южной тайге (Б), хвойно-широколиственных лесах (В). Толщина линии символически отображает плотность связей. Φ – фитоценоз. П – почва.

В разделе 4.3 исследуется зависимость внутриуровневых межкомпонентных связей от уровня ландшафтного разнообразия (задача № 3). Сравнение канонических корреляций и моделей (2) при разном территориальном охвате для Архангельского полигона показало, что на урочищном уровне сопряженность травяного и мохово-лишайникового ярусов со всеми свойствами ярусов фитоценоза и почв более высока, чем при охвате всего ландшафта. Противоположная закономерность характерна для связей между древесным, кустарниковым и кустарничковым ярусами. В целом сопряженность свойств компонентов на ландшафтном уровне снижается по сравнению с местным и, особенно, урочищным уровнями. Это свидетельствует о частой смене типов отношений в пространстве. Следовательно, возможности прогнозирования будущих состояний почв и фитоценозов по пространственному ряду вдоль экологического градиента

ограничиваются областью отношений одного типа, которую надо выявлять отдельно для каждого вида зависимости (см. раздел 4.6).

В таежном ландшафте бугристой террасы Оби с покровом лессовидных суглинков внутрифитоценотические связи сильны как в масштабе лесоболотного ландшафта, так и внутри группы лесных урочищ. Почвенно-фитоценотические связи резко ослабевают в группе лесных урочищ. В суходольных урочищах большинство фитоценотических признаков относительно независимы от почв до возрастной стадии около 80 лет, позже начинается взаимная адаптация в соответствии с локальными геоморфологическими условиями. В дюнном хвойно-широколиственнолесном ландшафте Куршской косы, сложенном песками, напротив, почвенно-фитоценотические связи более прочны в группе лесных урочищ. Накопление толщи неразложившегося органического вещества мощностью более 10 см вызывает снижение тесноты почвенно-фитоценотических и внутрифитоценотических связей.

В разделе 4.4. исследуются межуровневые связи как индикатор полимасштабности ландшафтной организации (задача № 4). Формализованное определение размера вмещающей геосистемы представляет специальную задачу, которая ранее в ландшафтоведении не ставилась. Выявлены три аспекта полимасштабной организации.

Первый аспект — наличие разных «контролирующих» масштабных уровней геосистем для разных свойств. Генезис ландшафта в большой степени определяет характерные размеры геосистем. Например, в ландшафтах пластово-эрозионных равнин Удмуртии с хвойно-широколиственными лесами для соотношения видов, чувствительных к трофности почв, КД максимален, если в качестве предикторов в модели (3) используются морфометрические характеристики окрестностей со стороной 6000 м при ОТЕ 400 м. Следовательно, фитоценозы принципиально различны в зависимости от наследия плейстоценовых процессов – положения либо в пределах слабовыпуклых поверхностей с покровом лессовидных суглинков, либо в нижних частях склонов коренных увалов, перекрытых водноледниковыми песками. В первом случае возникают леса с участием широколиственных пород, пихты, с неморальным травостоем, с лещиной, калиной, черемухой на глубокогумусированных дерново-подзолистых нейтральных почвах. Во втором — сосняки с можжевельником, жимолостью, шиповником на подзолистых кислых почвах. Классификация рельефа по свойствам окрестности данного размера несет существенную почвенно-геохимическую и фитоценотическую информацию и позволяет экстраполировать точечные данные в пределах класса рельефа.

В среднетаежном структурно-моренно-эрозионном ландшафте (Архангельская область) средние линейные размеры вмещающих геосистем для большинства свойств определены в 1200 м при ОТЕ 400 м, для некоторых – 2000 м (рис. 7).

В южнотаежных ландшафтах Кологривского района сопряженность осей дифференциации компонентов с рельефом ниже, чем в других регионах, но сопоставима с масштабом Костромской области в целом. Это объясняется увеличенным территориальным охватом наблюдений и наличием ландшафтов трёх родов – моренных, моренно-водноледниковых и зандровых. Большинство свойств контролируется вмещающими геосистемами со стороны 4400 м при ОТЕ 400 м.

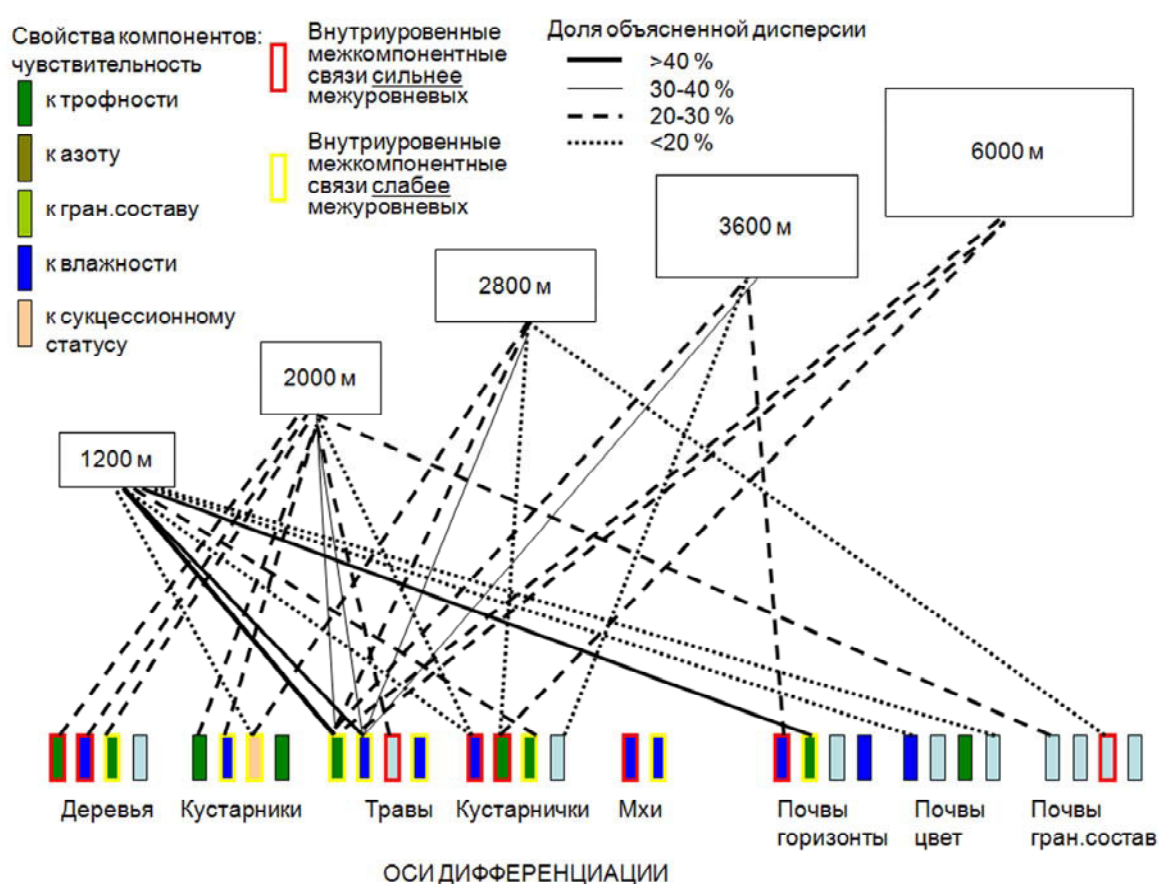


Рис. 7. Межуровневые связи для свойств компонентов среднетаежного ландшафта в Архангельской области (полигон «Заячья»). Доля дисперсии (%) значений оси, объясненная уравнением зависимости от свойств рельефа квадратной окрестности со стороны 1200, ..., 6000 м.

Второй аспект полимасштабной организации – подчиненность одного и того же свойства процессам, происходящим на нескольких вышестоящих масштабных уровнях. Так, в почвах Удмуртии степень выраженности оглеения (1-я ось дифференциации цвета

почв), во-первых, определяется современным процессом самоорганизации стока, охватывающим ряд пространственно сопряженных урочищ (окрестность со стороны 1200 м), а во-вторых — наследием палеопроцесса тектонической дифференциации, сформировавшим резко различные условия для оглеения в днищах долин, на склонах и на плоских поверхностях увалов (окрестность 3600 м).

Третий аспект полимасштабной организации — различие физического смысла межкомпонентных связей во вложенных и вмещающих ПТК. Очевидно, что при разрешении ЦМР 400 м не могут быть исчерпывающе описаны межуровневые взаимодействия. Требуется проверка гипотез о значимости более дробных уровней организации ландшафта, адекватных для отражения межфациальных взаимодействий. В Архангельском ландшафте такое исследование проведено в луговой балке. Как ОТЕ выступали единицы с линейными размерами 10 и 30 м, а как вмещающие — геосистемы с кратными размерами. Установлено, например, что, богатство почв основаниями лучше всего объясняется морфометрическими характеристиками окрестности 90 м при размере ОТЕ 10 м. Такие параметры модели различают вогнутые и выпуклые фации на склонах, контрастные по условиям эрозионного смыва четвертичных отложений. При смыве усиливается влияние подстилающих пермских мергелей с сопутствующим обогащением почв кальцием и магнием. Для характеристик цвета и гранулометрического состава почв более оптимален размер ОТЕ 30 м при размере вмещающей геосистемы 210–270 м. Такие единицы различают сектора балки, контрастные по форме и глубине вреза в моренные суглинки и мергели, т.е. отражают нарастающую мощность продольного эрозионного потока. На примерах среднетаежного и степного ландшафтов доказано, что недостаточное качество модели урочищного уровня (ОТЕ 400 м), как минимум, на четверть может быть объяснено вкладом локальных эффектов фациального уровня (ОТЕ 30 м), отражающих перераспределение вещества между формами микрорельефа.

В разделе 4.5 реализуется способ количественной оценки вкладов внутриуровневых и межуровневых связей в варьирование свойств компонентов (задача № 5). До этого этапа внутриуровневые и межуровневые связи рассматривались *раздельно*. Однако очевидно, что оба типа взаимодействий могут одновременно влиять на каждое свойство. Вопрос о соотношении их вкладов в варьирование свойств решался методом суперфакторов. Метод реализован для всех осей дифференциации компонентов для Архангельского, Кологривского и Удмуртского полигонов.

Для ландшафта в Архангельской области 8 суперфакторов в совокупности объясняют 54% варьирования значений 32 осей дифференциации свойств. Из них 4

суперфактора имеют максимальные по модулю факторные нагрузки для характеристик рельефа вмещающих геосистем. На основании модели (5) установлено, например, что совокупный эффект геосистем вышестоящих рангов объясняет 59% дисперсии для оси, отражающей соотношение, с одной стороны, нитрофильных и неморальных видов (*Aconitum septentrionale*, *Filipendula ulmaria*, *Aegopodium podagraria*, *Pulmonaria officinalis*), с другой – бореальных и боровых (*Lycopodium clavatum*, *Luzula pilosa*, *Athyrium filix-femina*, *Trientalis europaeus*). Группа моделей (3) показывает, что доля дисперсии значений оси, объясняемой морфометрическими характеристиками рельефа в окрестностях 1200-6000 м по отдельности, составляет от 25 до 40% (рис. 7). При расчете «суперфакторов» по модели (5) часть информации о рельефе каждой из этих окрестностей теряется. Однако даже при этой потере 4 суперфактора *вместе* объясняют существенно большую долю варьирования исследуемого свойства, чем каждая окрестность по отдельности. Следовательно, соотношение видов определяется *совместным* эффектом процессов, связанных с несколькими масштабными уровнями организации геосистем. Вклад наиболее высоких уровней (сторона квадрата 3600–6000 м) состоит в наследии палеопроцессов эрозионного смыва четвертичных отложений со склонов крупных долин и обнажения мергелей при сохранении экранирующего чехла на междуречных поверхностях. Вклад более низких уровней (1200–2000 м) состоит в перераспределении минеральных веществ между локальными междуречьями и долинами малых водотоков.

Вторая группа суперфакторов — это межкомпонентные отношения в чистом виде, то есть согласованное пространственное варьирование группы видов растений и/или группы свойств почв. Так, модель (5) для 3-й оси дифференциации травостоя, отражающей реакцию на локальные выходы высокоминерализованных грунтовых вод, показывает *совместный* эффект почвенно-фитоценоотических взаимодействий, независимый от свойств вмещающих геосистем и превышающий эффекты влияния компонентов по отдельности (модели (2)).

В целом по материалам из разных ландшафтных зон установлено, что совокупный вклад контролируемых рельефом процессов и явлений разных масштабных уровней в пространственное варьирование свойств компонентов ландшафта может составлять для разных свойств от 20 до 60% дисперсии. От 15 до 50% дисперсии может объясняться локальными внутрифитоценоотическими и почвенно-фитоценоотическими взаимодействиями в ходе саморазвития компонентной структуры.

В разделе 4.6. определены пространственные рамки действия межкомпонентных связей, т.е. специфика локальных условий, в которых наиболее ярко

проявляется характерный тип отношений между свойствами (задача № 3).

В первом варианте решения этой задачи выявлены ареалы реализации межуровневой связи между фитоценозом, характеризуемым в репрезентативных фациях, и континуальными характеристиками рельефа вмещающих геосистем. Был проведен анализ пространственного распределения остатков уравнений вида (3), где зависимая переменная — свойство растительного покрова. Установлено, например, что в Удмуртии соотношение широколиственных и хвойных пород меняется в зависимости комбинации форм рельефа в окрестности со стороной 6000 м. Правило действует только в пределах водораздельных поверхностей. Чем ближе расположены густорасчлененные склоны долин, что свидетельствует о близости коренных пород к поверхности и более высокой тропности, тем больше обилие липы, вяза и дуба, меньше – ели, пихты и сосны.

Во втором варианте ареалы выявлены по континуальным данным для двух свойств. Средствами моделей вида (4) для Айтуарской степи определялось, существует ли в пределах геохоры единый вид зависимости свойств фитоценоза ОТЕ (со стороной 90 м) от свойств рельефа вмещающей геосистемы (со стороной 450, 990 или 1890 м), а также – каков размер такой геохоры. Рассчитанные характеристики отнесены к центральной ОТЕ квадрата, соответствующего гипотетическому размеру геохоры. Если КД превышал 0,4 ($p < 0,05$), то считалось, что существует геохора, объединяющая ОТЕ, которые одинаковым образом зависят от вмещающих геосистем. Если при увеличении размера квадрата до некоторой величины происходило резкое снижение КД до недостоверных значений, то квадрат предшествующего размера считался максимальным размером геохоры. Проведен сравнительный анализ качества уравнений для нескольких комбинаций размеров вмещающих геосистем и гипотетических геохор.

Установлено, что в низкогорно-степном ландшафте наиболее распространены геохоры, размеры которых превышают размер ОТЕ не более, чем в 3-5 раз (рис. 8). Такие геохоры могут занимать более 30% территории. Максимальные по площади геохоры характерны для свойств фитоценоза, чувствительных к солярной экспозиции; геохоры меньшей площади – для свойств, чувствительных к факторам влажности и каменистости. При размере вмещающей геосистемы 990 м свойства, чувствительные к экспозиции, варьируют согласованно с рельефом на существенно большей территории, чем при гипотетических размерах вмещающих вмещающей геосистемы 450 и 1890 м. Для свойств фитоценозов, чувствительных к влажности местообитания, ОТЕ, зависимые от вмещающей геосистемы со стороной 990 м, обычно включены в квадратный ареал со стороной до 450 м.

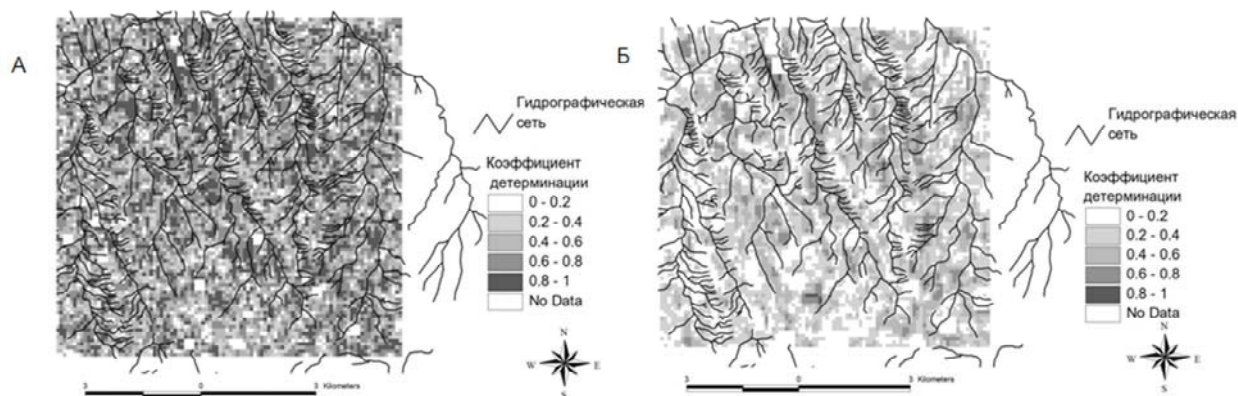


Рис. 8. Коэффициенты детерминации линейного уравнения зависимости свойств фитоценоза Айтуарской степи от рельефа окрестностей. Размер операционной территориальной единицы – 90 м. Зависимая переменная – 1-й фактор дифференциации растительного покрова (влажность), независимые переменные – 4 морфометрические показателя рельефа в квадратной окрестности с линейным размером 450 м. Окрестность расчета: 270 м (А), 450 м (Б).

На примере среднетаежного полигона в Архангельской области выделены ареалы единообразных межуровневых связей в системе «рельеф – растительный покров», дана их ландшафтно-планировочная интерпретация (рис. 9). Построена серия моделей вида (4), описывающих зависимость свойств растительного покрова, чувствительных к влажности, от рельефа окрестностей. Классификация по регрессионным коэффициентам позволила выявить классы ОТЕ, отличающиеся по правилу зависимости от рельефа. Например, класс 1 (рис. 9) характеризуется отрицательной связью «фактора влажности» с вертикальной расчленённостью при положительной – с горизонтальной расчленённостью и уклонами. Следовательно, доля гигрофитов сокращается по мере слияния ручьёв в редкие глубоковрезанные реки, что происходит при сокращении четвертичного чехла и врезании в коренные породы. Сравнительный анализ качества моделей для разного территориального охвата показал, что максимальные площади охватываются таким типом отношений при стороне квадрата 6,8 км. Решение о размещении видов землепользования в ареале заключается в зонировании со сменой приоритета по мере приближения к долине и роста дренированности: от лесного хозяйства через пастбищное животноводство и сенокосение к земледелию. Выявленная закономерность применима для локализации технологий освоения территории: способа дренажа дороги, типа севооборота и т.д. В геохоре класса 2 (рис. 9) эта схема неприменима: влажность может расти, наоборот, на пологих склонах. Тогда в силу плоскостной разгрузки грунтовых вод формируются

перегнойные почвы под осиново-еловыми субнеморально-нитрофильными лесами с большими запасами древесины, но при ограничениях на выбор сезона и способа рубки.

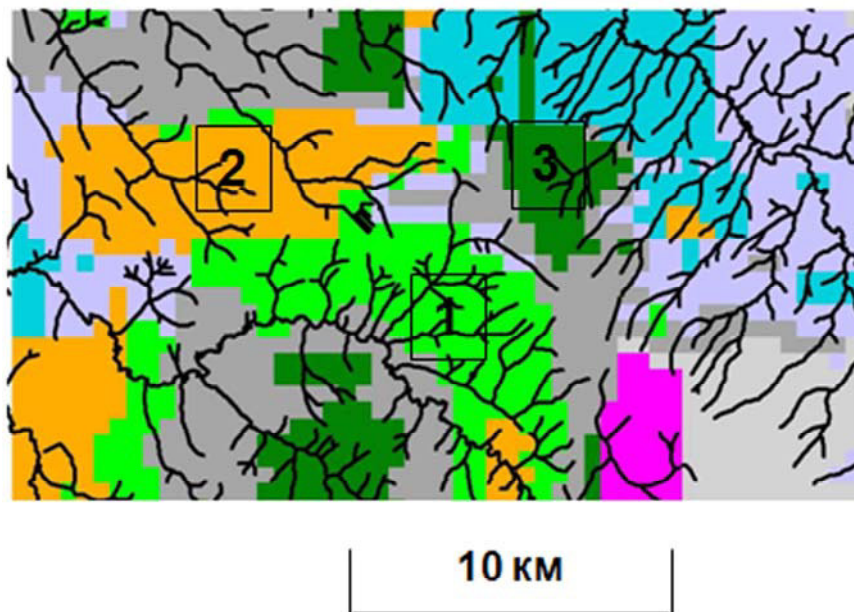


Рис. 9. Ареалы видов зависимости фактора влажности растительного покрова от рельефа ОТЕ и рельефа вмещающих геосистем. Класс 1: рост влажности по мере роста уклонов и количества водотоков, уменьшения вертикальной расчленённости. Класс 2: рост влажности по мере уменьшения вертикальной расчлененности и роста уклонов. Класс 3: Рост влажности по мере уменьшения горизонтальной расчлененности, увеличения вертикальной расчлененности, приближения к водотокам.

Раздел 4.7. посвящен выявлению **временных рамок действия межкомпонентных связей и их варьированию в зависимости от сукцессионной стадии** (задача № 3). Решался вопрос, изменяется ли состав плеяд взаимосвязанных свойств и теснота связей в ходе сукцессии. Сравнивались выборки из 55–65 наблюдений для стадий восстановительных сукцессий в лесной зоне (границы стадий около 45 и 65 лет). Проверка гипотезы о варьировании состава плеяд проверялась на первом шаге средствами канонического корреляционного анализа, на втором – построением плеяд по коэффициентам корреляции Спирмена.

Приведены доказательства, что состав плеяд меняется при смене сукцессионных стадий. В средней тайге с приближением к стадии старовозрастных лесов фитоценозы более жёстко адаптируются к почвам и меньше зависят от гранулометрического состава отложений. Формируется парциальная система, объединяющая свойства нижних ярусов фитоценоза и морфологические свойства почв. На поздних стадиях сукцессии возрастает

согласованность свойств фитоценоза с окислительно-восстановительными условиями. В южной тайге и зоне хвойно-широколиственных лесов, напротив, развитие идет по пути уменьшения зависимости фитоценоза от строения почвенного профиля, но при растущей согласованности с динамичными цветовыми свойствами почв. Хвойно-широколиственные фитоценозы на ранних стадиях развиваются сопряженно со свойствами почв, но при приближении к старовозрастной стадии связь ослабляется. Внутрифитоценотическая сопряженность в ходе сукцессии обычно возрастает, особенно среди нижних ярусов. Приоритетная подчиненность древостоя свойствам рельефа вмещающих геосистем определенного масштабного уровня, как правило, в ходе восстановительной сукцессии не меняется и может считаться инвариантным свойством геосистемы.

В разделе 4.8. представлено картографическое воплощение процедуры **синтеза геосистем на основе концепции полимасштабности** (задача № 6). Рассматриваются и интерпретируются для Архангельского полигона две группы картографических моделей парциальных геосистем — двухуровневые и многоуровневые. Процедура построения **двухуровневой модели**, основана на классификации ОТЕ по морфометрическим свойствам рельефа вмещающих геосистем, которые создают рамочные условия для той или иной плеяды свойств ПРП. Карта следует логике: «Принадлежность к данному классу рельефа определяет такое-то сочетание свойств ПРП, чувствительных к данному масштабному уровню рельефа вмещающих геосистем». В отличие от традиционной детерминистской модели морфологической структуры ландшафта, выделение единиц формализовано, а критерием проведения границ выступают особые свойства, возникающие при *взаимодействии* пространственных элементов, а не их усредненная характеристика.

Более корректна иная логика: «При такой-то комбинации форм рельефа в данной окрестности *наиболее вероятен* такой-то класс свойств ПРП, чувствительных к данному масштабному уровню». Для данного ландшафта уровень рельефа со средними линейными размерами структур 1200 м контролирует большую группу свойств трав, кустарничков, кустарников, почв, в том числе первых по значимости; древостой и мхи к этому уровню нечувствительны (рис. 7). По совокупности этих свойств методом к-средних выделены 8 классов, т.е. обучающая выборка. Методом дискриминантного анализа рассчитана корректность различения комбинации форм рельефа в окрестности 1200 м 8-ю классами ПРП. Рассчитаны вероятности каждого из 8 классов ПРП для каждой ОТЕ, не обеспеченной полевыми описаниями, но с известными морфометрическими характеристиками. Принадлежность к наиболее вероятному классу ПРП нанесена на карту (рис. 10, А). Содержательная интерпретация классов приводится в тексте диссертации.

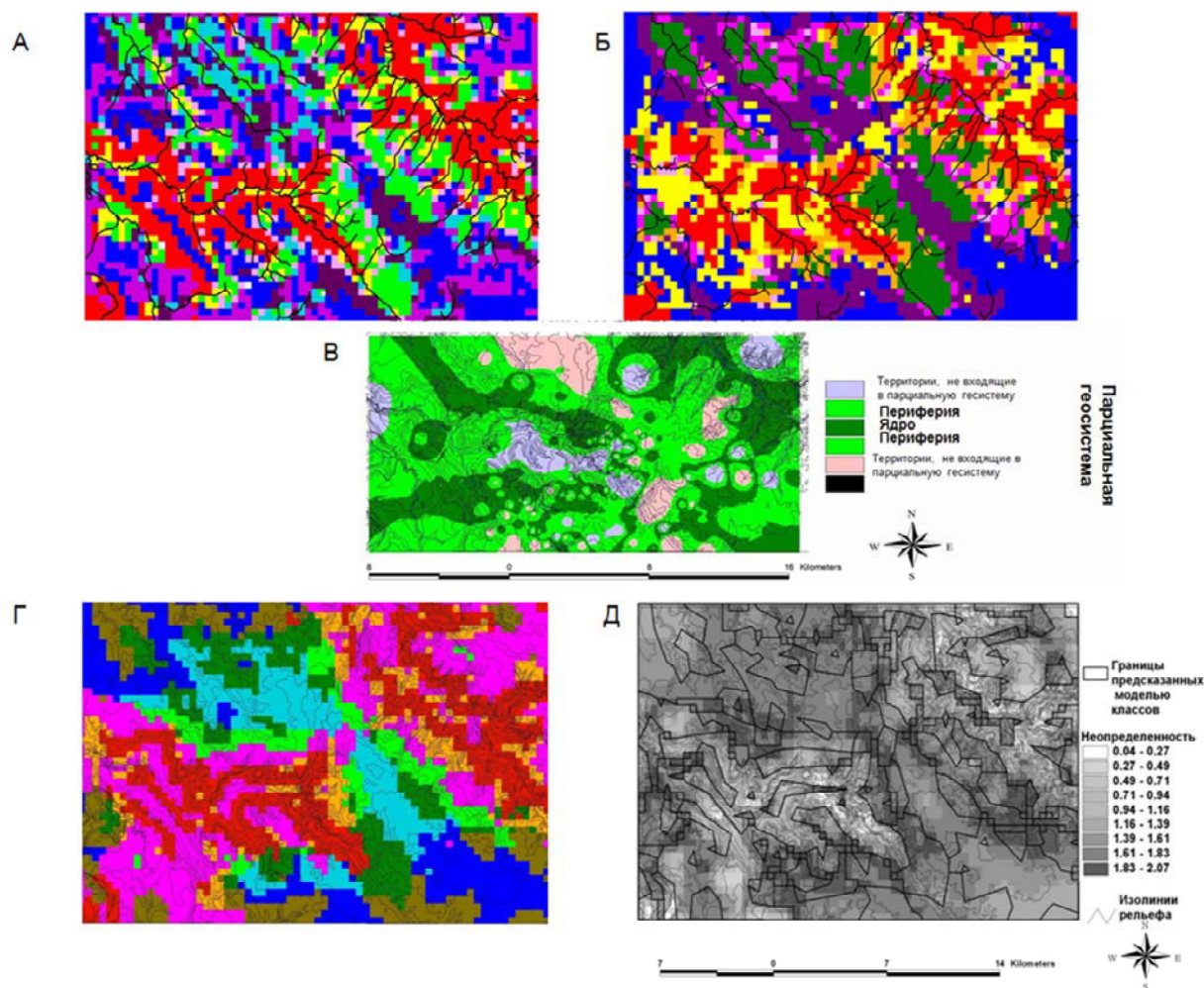


Рис. 10. Картографические модели среднетаежного ландшафта в Архангельской области (полигон «Заячья»).

Двухуровневые картографические модели наиболее вероятных парциальных геосистем. Разрешение цифровой модели рельефа 400 м. 8 классов геосистем:

А - с линейными размерами 1200 м по чувствительности трав, кустарничков, почв.

Б - с линейными размерами 2000 м по чувствительности деревьев, кустарников, почвообразующих отложений.

В - Карта геохоры, образованной 1 плеядой свойств ландшафта, чувствительных к варьированию режима влажности почв.

Многоуровневая модель парциальных геосистем, выделенных по чувствительности свойств почв и фитоценозов, чувствительных к влажности и трофности (1-я и 2-я плеяды), и свойствам рельефа значимых уровней вмещающих геосистем:

Г – наиболее вероятные классы почвенно-растительного покрова;

Д – неопределенность классификационной принадлежности: чем темнее тон, тем выше неопределенность (границы классов соответствуют В).

Карта детально отражает разнообразие ПРП на водораздельных поверхностях в зависимости от ландшафтного соседства, но генерализирует его в глубокооврезанных долинах, где ПРП, вне зависимости от мезорельефа, остается в рамках диапазона дренированных богатых местообитаний с субнеморальными свойствами фитоценозов и активным гумусонакоплением в дерново-подзолистых и серогумусовых почвах.

Многоуровневая картографическая модель парциальных геосистем, отражает более сложную логику: «При такой-то комбинации рамочных условий, создаваемых рельефом вмещающих геосистем *нескольких* рангов, наиболее *вероятен* такой-то класс свойств ПРП, сходных по приоритетной чувствительности к некоторому экологическому фактору». Выявлено три основных плеяды свойств, чувствительных, соответственно, к влажности, трофности и сукцессионному статусу.

Первая плеяда объединяет группу свойств, чувствительных к влажности почв. Построена серия моделей вида (2), в каждой из которых зависимой переменной выступает одна из осей, входящих в плеяду, а независимыми — остальные члены плеяды. Наилучшим качеством с КД 0,52 обладает уравнение, объясняющее варьирование 3-й оси дифференциации древостоя – соотношения хвойных (ель, сосна) и мелколиственных (осина, ольха) пород. Геохору объединяет следующие правила. По мере повышения уровня грунтовых вод и нарастания длительности застойного водного режима элювиально-глеевый и элювиально-гумусовый процессы (в подзолах литобарьерных глинисто-иллювирированных) замещаются торфонакоплением в торфяно-подзолистых почвах или торфяно-глееземах. Елово-березово-осиновые леса с подростом ели и серой ольхи сменяются березово-елово-сосновыми с подростом ели и березы, зеленомошный покров – сфагново-долгомошным с черникой. Границы геохоры определены путем интерполяции значений остатков уравнения методом обратно взвешенных расстояний (IDW) по 12 ближайшим точкам. В результате к геохоре отнесены территории, где концентрируются 50% наблюдений (с остатками близкими к 0), подчиняющихся единому виду зависимости между свойствами-членами первой плеяды, а также соседние территории со сходными ландшафтными условиями (рис. 10, Б). Описан характерный для них диапазон условий. Для свойств 1-й плеяды выявлены комбинированные эффекты влияния вмещающих геосистем, что дает основание применить классификацию рельефа для разделения мозаичной геохоры на индивидуальные парциальные геосистемы, относительно монотонные по свойствам, входящим в плеяду. Для этого в дискриминантной модели класс свойств ПРП 1-й плеяды принят как группирующая переменная, а значимые свойства рельефа окрестностей нескольких размеров – как независимые переменные. В отличие от двухуровневой модели, таким способом

проверялась гипотеза *полимасштабности геосистемных взаимодействий*. Для каждой ОТЕ, в том числе не снабженной полевыми наблюдениями, рассчитана вероятность принадлежности к каждому классу ПРП. Содержание каждого класса раскрыто в тексте диссертации.

По аналогии построена многоуровневая модель для 2-й плеяды свойств, сущность которой заключается в сопряженной реакции ярусов фитоценоза на трофность почв. 3-я плеяда объединяет свойства фитоценоза, сопряженно меняющиеся в ходе сукцессии и нечувствительные к рельефу: необходимость многоуровневой модели отпадает.

Многоуровневая картографическая модель создана также для *совместного эффекта факторов влажности и трофности*; она исключает вклад антропогенных сукцессионных факторов. По аналогичной схеме выявлены наиболее вероятные классы ПРП по совокупности свойств, входящих в 1-ю и 2-ю плеяду (рис. 10, В). В структуре почвенного покрова такие классы примерно соответствуют контрастным мезоструктурам-мозаикам (по В.М. Фридланду, 1977). Показано, что на основе расчета НКП (рис. 10, Г) удается различать дискретные и континуальные границы составляющих его геосистем и определять ширину переходных полос. Для одной из таких полос показана значимость узколокальных эффектов для дифференциации фаций с использованием ЦМР более дробного разрешения. Вычислительный эксперимент методом дискриминантного анализа показал, что многоуровневая модель оказывается более адекватной, чем двухуровневая, при размере ОТЕ 10 м и выделении 6 классов ПРП либо при размере ОТЕ 30 м и выделении 8 классов ПРП.

Серия представленных карт демонстрирует опыт картографирования полиструктурной и полимасштабной организации ландшафта на основе соотношения вкладов межуровневых и внутриуровневых связей. Наложение разномасштабных эффектов порождает специфические «скрытые» геосистемы, как правило – рангом выше урочища, примерно соответствующие мезоструктурам почвенного покрова. Выявленные геосистемы могут иметь или континуальные границы или резкие, но не связанные с явными геолого-геоморфологическими рубежами. Предложенный алгоритм позволяет распознавать и предсказывать для районов, не обеспеченных описаниями, почвенные и фитоценотические границы в пределах единой геоморфологической поверхности, связанные не с перегибами рельефа, а с наложением эффектов разномасштабных структур. Например, можно предсказать смену подзолистых почв дерново-подзолистыми как выше, так и ниже перегиба от водораздельной поверхности к склону долины в зависимости от ландшафтного соседства. Полимасштабный анализ применим к изучению жизнеспособности популяций, с той разницей, что вместо характеристик рельефа в

окрестности ОТЕ должны применяться характеристики разнообразия и фрагментированности ландшафтного покрова.

В **Заключении** подводится итог работы. Ключевые для ландшафтоведения вопросы о тесноте межкомпонентных связей и о дискретности-континуальности ландшафтных единиц – это вопросы о масштабе исследования. Ландшафтная единица разными своими свойствами участвует одновременно в полимасштабной системе межкомпонентных отношений и подчиняется вмещающим геосистемам разных уровней и разных типов. Установленные основные различия в тесноте и соотношении внутриуровневых и межуровневых связей и их динамики в ходе сукцессий в исследованных среднетаежных, южнотаежных и хвойно-широколиственных лесах, отражающие специфику их структурной организации (таблица).

Таблица. Различия структурной организации лесных ландшафтов.

| <i>Признак</i> | <i>Средняя тайга</i> | <i>Южная тайга</i> | <i>Хвойно-широколиственные леса</i> |
|--------------------------------------------------------------------------------|----------------------|--------------------|-------------------------------------|
| Теснота внутрифитоценотических связей | Высокая | Средняя | Высокая |
| Теснота почвенно-фитоценотических связей | Высокая | Низкая | Средняя |
| Изменение тесноты внутрифитоценотических связей в ходе сукцессии | Возрастает | Убывает | Возрастает |
| Изменение тесноты почвенно-фитоценотических связей в ходе сукцессии | Возрастает | Убывает | Убывает |
| Изменение значимости почвообразующих отложений для фитоценоза в ходе сукцессии | Убывает | Возрастает | Убывает |
| Индикационная роль трав по отношению к строению почвенного профиля | Высокая | Высокая | Средняя |
| Индикационная роль мхов по отношению к строению почвенного профиля | Высокая | Низкая | Низкая |

| <i>Признак</i> | <i>Средняя тайга</i> | <i>Южная тайга</i> | <i>Хвойно-широколиственные леса</i> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|
| Индикационная роль деревьев по отношению к строению почвенного профиля | Низкая | Низкая | Высокая |
| Значимость комбинированных эффектов вмещающих геосистем нескольких масштабных уровней (многоуровневых связей) | Высокая для фитоценоза | Средняя для почв и древостоя | Низкая |
| Значимость рамочных условий вмещающей геосистемы одного масштабного уровня (одноуровневых связей) | Высокая для единичных свойств почв и отложений | Высокая для большинства свойств | Высокая для большинства свойств |
| Значимость комбинированных эффектов взаимодействия компонентов независимых от вмещающих геосистем | Высокая | Высокая | Низкая |

ВЫВОДЫ

1. Совокупный вклад контролируемых рельефом процессов и явлений разных масштабных уровней в пространственное варьирование свойств компонентов ландшафта может составлять от 20 до 60% дисперсии. От 15 до 50% дисперсии может объясняться локальными внутрифитоценотическими и почвенно-фитоценотическими взаимодействиями в ходе саморазвития компонентной структуры.

2. Наиболее универсальные плеяды свойств в ландшафтах лесной зоны состоят из взаимосвязанных свойств кустарникового и травяного ярусов, древесного и травяного ярусов. Наилучшие фитоценотические индикаторы строения почв различаются по регионам: в заболоченной средней тайге Западной Сибири – виды мохового яруса, в средней тайге Архангельской области и в южной тайге – виды трав и кустарничков, в хвойно-широколиственных лесах – виды деревьев и кустарников.

3. Сопряженность свойств компонентов зависит от масштабного уровня организации: на уровне ландшафта теснота связей снижается по сравнению с уровнем местности и, особенно, – урочища. Уменьшение тесноты связей с ростом ландшафтного

разнообразия и территориального охвата обычно означает смену математических видов зависимости в пространстве.

4. Совокупные эффекты воздействия групп компонентов могут превышать по значимости эффекты парных взаимодействий. Внутрифитоценотические связи обычно более сильны, чем почвенно-фитоценотические и чем связи фитоценоза с рельефом вмещающих геосистем.

5. В ходе восстановительной сукцессии свойства почв и фитоценозов находятся под приоритетным контролем процессов одного и того же масштабного уровня вмещающих геосистем. Теснота почвенно-фитоценотических и внутрифитоценотических связей в ходе сукцессии изменяется. Внутрифитоценотическая межъярусная сопряженность в ходе восстановительной сукцессии возрастает, особенно среди нижних ярусов фитоценоза.

6. В средней тайге с приближением к стадии старовозрастных лесов взаимоадаптированность почв и фитоценоза возрастает, а зависимость фитоценоза от гранулометрического состава почвообразующих отложений ослабевает. В южной тайге и зоне хвойно-широколиственных лесов, напротив, развитие идет по пути уменьшения зависимости фитоценоза от строения почвенного профиля, но по пути роста согласованности с динамичными цветовыми характеристиками почв. Хвойно-широколиственные фитоценозы на ранних стадиях развиваются сопряженно со свойствами почв, но при приближении к старовозрастной стадии усиливают независимость от внешней среды.

7. Методология полимасштабного анализа структуры ландшафта позволяет различать дискретные и континуальные границы составляющих его геосистем и определять ширину переходных полос с неравновесными отношениями компонентов. В таежном и степном ландшафтах от четверти до половины дисперсии свойств, не описываемой моделью ландшафтного уровня, объясняются узколокальными взаимодействиями пространственных единиц фациального уровня.

8. Полиструктурная и полимасштабная организация ландшафта порождает специфические геосистемы с континуальными границами, которые заданы совокупным эффектом разномасштабных хронологических взаимодействий и сосуществуют с природно-территориальными комплексами с явными геолого-геоморфологическими границами.

Основные публикации по теме диссертации

Статьи в зарубежных изданиях, индексируемых WoS и/или SCOPUS

1. Bastian O., Grunewald K., **Khoroshev A.V.** The significance of geosystem and landscape concepts for the assessment of ecosystem services: exemplified on a case study in Russia // *Landscape Ecology*. 2015. Vol. 30. No. 7. P. 1145-1164.

2. Angelstam P., Grodzynski M., Andersson K., Axelsson R., Elbakidze M., **Khoroshev A.**, Kruhlov I., Naumov V. Measurement, collaborative learning and research for sustainable use of ecosystem services: landscape concepts and Europe as laboratory // *AMBIO*. 2013. Vol. 42. P.129–145.

Статьи в журналах, рекомендованных ВАК

3. **Хорошев А.В.** Современные направления структурного ландшафтоведения // *Известия РАН. Сер. геогр.* 2016. № 3. С. 7-15.

4. **Хорошев А.В.** Ландшафтно-геохимические основания планирования экологического каркаса агроландшафта (на примере среднетаежного ландшафта в Архангельской области) // *Вестник Моск. ун-та, сер. 5 география*. 2015. № 6. С. 19-27.

5. **Хорошев А.В.**, Леонова Г.М. Реакции при изменении увлажнения в ландшафте Айтуарской степи (Южный Урал) // *Вестник Моск. ун-та, сер. 5 география*. 2015. № 4. С. 95-103.

6. **Хорошев А.В.** К дискуссии о неоландшафтоведении: детерминированность, полимасштабность, полиструктурность // *Известия РГО*. 2014. Т. 146. Вып. 4. С. 58-69.

7. **Хорошев А.В.**, Немчинова А.В., Кощева А.С., Иванова Н.В., Петухов И.Н., Терентьева Е.В. Ландшафтные и сукцессионные факторы соотношения неморальных и бореальных свойств травяного яруса в заповеднике «Кологривский лес» // *Вестник Моск. ун-та, сер. 5*. 2013. № 5. С. 11-18.

8. Авессаломова И.А., Савенко А.В., **Хорошев А.В.** Ландшафтно-геохимическая контрастность речных бассейнов как фактор формирования ионного стока // *Вестник Моск. ун-та, сер. 5 география*. 2013. № 4. С. 3-10.

9. **Хорошев А.В.**, Еремеева А.П., Мерекалова К.А. Оценка межкомпонентных связей в степном и таежном ландшафтах с учетом изменяемой пространственной единицы // *Известия РГО*. 2013 Т. 145. Вып. 3. С. 32-42.

10. Немчинова А.В., Петухов И.Н., Кощева А.С., **Хорошев А.В.**, Иванова Н.В. Эколого-ценотическая индикация свойств южнотаежных ландшафтов на примере заповедника «Кологривский лес» // *Вестник Костромского гос. ун-та им. Н.А. Некрасова*. 2012. Т.18. № 4. С. 17-21.

11. **Хорошев А.В.** Географическая концепция ландшафтного планирования // Известия РАН. Сер. геогр. 2012. № 4. С. 103-112.
12. **Хорошев А.В.**, Алещенко Г.М. Иерархическая организация межкомпонентных связей в ландшафте // Вестник Моск. ун-та, сер. 5, география. 2012. № 3. С. 25-32.
13. **Хорошев А. В.** О способе выделения парциальных геосистем на основе анализа межкомпонентных связей в ландшафте // Известия РГО. 2012 Т. 144. Вып. 2. С. 19-28.
14. Немчинова А.В., **Хорошев А.В.** Выделение репрезентативных лесов при лесорастительном зонировании территории Костромской области на ландшафтной основе // Вестник Костромского гос. ун-та им. Н.А. Некрасова. 2011. Т.17. № 1. С. 14-19.
15. **Хорошев А.В.** Иерархическая организации межкомпонентных связей в лесных ландшафтах Восточно-Европейской равнины // Известия РГО. 2010. Т. 142. Вып. 5. С. 9-16.
16. **Хорошев А.В.** Рельеф как фактор полимасштабной организации межкомпонентных связей в лесных ландшафтах Восточно-Европейской равнины // Вестник Моск. ун-та, сер. 5 география. 2010. № 3. С. 35-42.
17. **Хорошев А.В.**, Мерекалова К.А., Алещенко Г.М. Полимасштабная организация межкомпонентных отношений в ландшафте // Известия РАН. Сер. геогр. 2010. № 1. С. 26-36.
18. **Хорошев А.В.** Ландшафтно-экологические ценности при планировании лесопользования // Лесоведение. 2009. № 6. С. 64-72.
19. **Хорошев А.В.**, Алещенко Г.М. Методы выделения геосистем с единством межкомпонентных отношений // География и природные ресурсы. 2008. № 3. С. 120-126.
20. **Хорошев А.В.**, Артемова О.А., Матасов В.М., Кошечева А.С. Иерархические уровни взаимосвязей между рельефом, почвами и растительностью в среднетаежном ландшафте // Вестник Моск. ун-та, сер. 5 география. 2008. № 1. С. 66-72.
21. **Хорошев А.В.** Ландшафтная структура Костромской области // Известия РГО. 2007. Т. 139. Вып. 5. С. 58-65.
22. **Хорошев А.В.**, Алещенко Г.М. Характерное пространство межкомпонентных отношений в ландшафте // Вестник Моск. ун-та, сер. 5 география. 2007. № 1. С. 22-28.
23. **Хорошев А.В.**, Пузаченко Ю.Г., Дьяконов К.Н. Современное состояние ландшафтной экологии // Известия РАН, сер. геогр. 2006. № 5. С. 12-21.
24. **Хорошев А.В.** Геостационарные и геоциркуляционные структуры в среднетаежном ландшафте // Вестник Моск. ун-та, сер. 5 география. 2005. № 3. С. 23-28.

25. **Хорошев А.В.** Факторы саморазвития пространственной структуры таёжного ландшафта // География и природные ресурсы. 2004. № 4. С. 5-12.
26. Пузаченко Ю.Г., **Хорошев А.В.**, Алещенко Г.М. Анализ организации ландшафта на основе космического снимка // Исследование Земли из космоса, 2003. № 3. С. 63-71.
27. **Хорошев А.В.** Влияние гидрографической сети на ландшафтную структуру севера Русской равнины // География и природные ресурсы. 2003. № 2. С. 56-62.
28. **Хорошев А.В.** Пространственная структура ландшафта как функция блокового строения территории // Вестник Моск. ун-та, сер. 5 география. 2003. № 1. С. 9-14.
29. **Хорошев А.В.** Межкомпонентные отношения в среднетаёжном ландшафте // Вестник Моск. ун-та, сер. 5 география. 2002. № 1. С. 62-69.
30. **Хорошев А.В.** Факторы дифференциации микроэлементов в почвах Центрального Кавказа // Известия РАН, Сер. геогр. 2001. № 6. С. 77-82.
31. **Хорошев А.В.** Цветовые характеристики почв как показатель структуры и эволюции среднетаежного ландшафта // Вестник Моск. ун-та, сер. 5 география. 2001. № 1. С. 20-27.
32. **Хорошев А.В.**, Прозоров А.А. Динамика щелочно-кислотных условий в почвах среднетаежных ландшафтов // Вестник Моск. ун-та, сер. 5 география. 2000. № 1. С. 50-55.
33. **Хорошев А.В.** Оценка устойчивости ландшафтов бассейна р. Баксан (Центральный Кавказ) // Вестник Моск. ун-та, сер. 5 география. 1995. № 1. с. 81-87.
- Монографии, учебные пособия*
34. **Хорошев А.В.** Полимасштабная организация географического ландшафта. М.: КМК, 2016. 416 с.
35. **Хорошев А.В.**, Немчинова А.В., Авданин В.О. Ландшафты и экологическая сеть Костромской области. Кострома: Изд-во КГУ им. Н. А. Некрасова, 2013. 428 с.
36. **Хорошев А.В.** Ландшафтная структура бассейна р.Заячья (Важско-Северодвинское междуречье, Архангельская область. М., 2005. 158 с. Деп. ВИНТИ 27.09.2005 № 1253-В2005.
37. Авессаломова И.А., Петрушина М.Н., **Хорошев А.В.** Горные ландшафты: структура и динамика. Учебное пособие. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2002. 158 с.

Прочие статьи в зарубежных изданиях

38. Merekalova K., **Khoroshev A.** Trends in inter-component relationships during the recovery of disturbed landscapes // Halada, L. (Ed.) Landscape and Landscape Ecology. Slovak Academy of Sciences, Bratislava, 2016. P. 132–140.

39. Avessalomova I. A., **Khoroshev A. V.**, Savenko A. V. Barrier function of floodplain and riparian landscapes in river runoff formation // Pokrovsky O.S. (Ed.) Riparian zones. Characteristics, management practices, and ecological impacts. Nova Science Publishers, New York, 2016. P.181-210.

40. **Khoroshev A.**, Koshcheeva A. Landscape ecological approach to hierarchical spatial planning // Terra Spectra Planning Studies. Vol. 1. 2009. No. 2. P. 3-11.

41. **Khoroshev A.V.**, Merekalova K.A. Uncertainty of relations between landscape components – a tool for modeling evolution of spatial pattern // Ecology (Bratislava). 2006. Vol. 25. Supplement 1/2006. P. 122-130.

42. **Khoroshev A.** Driving forces of evolution of landscape spatial pattern // Visnyk Lviv Univ. Ser. Geogr. 2004. No 31. P. 215-222.

43. **Khoroshev A.V.** Linear interrelationship between landscape geocomponents // Publicationes Instituti Geographici Universitatis Tartuensis: 92. Development of European Landscapes. Conference Proceedings. Vol. I. Tartu, 2001. P. 59-63.

44. **Khoroshev A.V.** Origin of intralandscape spatial variability at the local level // Landscape ecology. Theory and applications for practical purposes. The problems of landscape ecology. Vol. VI. Warsaw, 2000. P. 141-148.

Прочие публикации

45. **Хорошев А.В.** Полимасштабность структуры географического ландшафта // Вопросы географии. Сб. 138. М.: Кодекс, 2014. С. 101-122.

46. **Хорошев А.В.**, Леонова Г.М., Еремеева (Иванова) А.П. Почвенно-фитоценоотические связи в ландшафте Айтуарской степи // Труды Государственного природного заповедника «Оренбургский». Вып. I. Оренбург: ИПК «Газпромпечатъ», 2014. С. 147-155.

47. **Хорошев А.В.** Проблемы изучения полиструктурности ландшафта // Ландшафтный сборник. М.-Смоленск: Ойкумена, 2013. С. 170-195.

48. **Хорошев А.В.** Полимасштабная организация ландшафтов Среднего Приобья // Окружающая среда и менеджмент природных ресурсов. Тюмень, 2012. С. 245-247.

49. **Хорошев А.В.** Пространственная дифференциация режимов природопользования в ландшафтах Куршской косы // Актуальные проблемы

ландшафтного планирования. М.: Издательство Московского университета, 2011. С. 226-230.

50. Кощеева А.С., **Хорошев А.В.** Планирование многофункционального лесопользования на ландшафтной основе // Экологическое планирование и управление. 2008. № 2(7). С. 51-60.

51. **Хорошев А.В.** Характерное пространство межкомпонентных отношений в ландшафтах юго-западной Удмуртии // Современное состояние, антропогенная трансформация и эволюция ландшафтов востока Русской равнины и Урала в позднем кайнозое. Изд-во ВятГГУ, 2008. С. 58-62.

52. **Khoroshev A.V.**, Merkalova K.A., Aleshchenko G.M. Multiscale organization of intercomponent relations in landscape // Landscape Analysis for Sustainable Development. Theory and Applications of Landscape Science in Russia. Alex Publishers, Moscow. 2007. P. 93-103.

53. **Хорошев А.В.**, Алещенко Г.М. Пространственная дифференциация типов межкомпонентных отношений в ландшафте // Научные чтения, посвящённые 100-летию со дня рождения В.Б. Сочавы. Иркутск: Изд-во Ин-та географии СО РАН, 2005. С. 42-46.

54. **Хорошев А.В.**, Прозоров А.А., Котлов И.П., Бочкарев Ю.Н., Столповский А.П. Изучение развития пространственной структуры ландшафта через понятие неопределенности классификационной принадлежности ПТК // Фундаментальные исследования взаимодействия суши, океана и атмосферы. М.: МАКС Пресс, 2002. С. 197-198.