

ИТОГОВЫЙ ОТЧЕТ ПО ПРОЕКТУ РФФИ 08-05-00441-а

Номер проекта

08-05-00441

Руководитель проекта

Хорошев Александр Владимирович

Название проекта

Характерное пространство межкомпонентных связей в ландшафте

Аннотация

В 2010 году проведены полевые исследования и дополнена база данных по полигонам исследований в типичных степях Оренбургской области (100 новых описаний), что позволило провести сравнение характерного пространства межкомпонентных связей с ранее изученными среднетаежными, южнотаежными и смешаннолесными полигонами. Проведено сравнение структуры межкомпонентных связей и определение иерархии ландшафтоформирующих процессов, зависящих от иерархии форм рельефа. На основе полученных данных об иерархической организации межкомпонентных связей выработаны основания и система информативных показателей для иерархического ландшафтного картографирования, т.е. выделения таких однородных в геоморфологическом смысле территорий, которые однородны и по почвенно-растительному покрову. Выявление резонансного уровня взаимодействия тех или иных свойств ландшафта с рельефом позволило установить характеристики ландшафта, наиболее отзывчивые к каждому уровню организации рельефа. Независимо от зональной принадлежности, степени континентальности и генезиса ландшафта наиболее связанным с травостоем компонентов является древостой. Особенно выделяется связь с древостоем в заболоченной средней тайге Западной Сибири, что отражает ведущий вклад тесных внутрифитоценологических связей с эдификаторами лесных сообществ. В средней тайге сопряженность мхов и кустарничков с травостоем несколько большая, чем в зоне смешанных лесов и южной тайге. Значимость набора и мощности почвенных горизонтов для дифференциации напочвенного покрова во всех регионах больше, чем значимость мохового яруса. Внутрифитоценологические отношения оказываются более значимыми на урочищно-внутриместностном уровне, а отношения травостоя с почвами – на фацциально-урочищном. Общее правило ослабления связей при переходе с уровня лесоболотного ландшафта на уровень группы лесных урочищ свидетельствует о фундаментальном значении неравновесных ландшафтоформирующих и ландшафтодифференцирующих процессов прогрессирующей дивергенции лесных и болотных урочищ. Установлено, что нелинейная составляющая уравнений межкомпонентных связей во многих случаях превышает линейную в 2-3 раза.

Фундаментальная задача проекта - выявить количественные соотношения между собственными свойствами ландшафтных комплексов и размерами пространства, в котором осуществляются процессы переноса вещества, энергии и информации, параметры которых оказывают влияние на этот ландшафтный комплекс. Задача подразумевает выявление иерархических уровней межкомпонентных связей, которые индицируют процессы переноса вещества, энергии и информации.

1) Сравнение характерных пространств проявления связей между инертными и мобильными компонентами лесных и степных ландшафтов, ландшафтов морского, умеренно-континентального и континентального климата, ландшафтов разной степени заболоченности, ландшафтов разного генезиса.

2) Построение и сравнение регионально-специфичных моделей структуры межкомпонентных связей и характерных пространств межкомпонентных отношений для

регионов с разной степенью континентальности климата и разным генезисом литогенной основы.

3) Выявление зависимости между характером межкомпонентных связей в ландшафте, иерархическим уровнем их проявления и устойчивости структуры ландшафта к внешним естественным и антропогенным воздействиям.

4) Разработка и реализация на региональных примерах методики картографирования целостных ландшафтных систем, основанная на знании о характерных пространствах межкомпонентных связей и степени согласованности изменения свойств компонентов ландшафта в пространстве.

5) Проверка гипотезы о возможности разделения вкладов разномасштабных локальных и региональных процессов в варьирование свойств природно-территориальных комплексов локального уровня.

6) Определение соотношения линейных и нелинейных связей между компонентами, что может свидетельствовать о самоусилении или самоингибировании ландшафтных процессов.

Первая группа результатов включает сравнение характерных пространств проявления связей между инертными и мобильными компонентами. Для степных ландшафтов Предуралья (Оренбургская область) построены регрессионные уравнения, где в качестве зависимой переменной выступает один из факторов дифференциации свойств почв или ярусов фитоценоза, измеренных на 186 точках, в качестве независимых переменных – группа морфометрических показателей рельефа, вычисленных для нескольких окрестностей (гипотетических вмещающих геосистем). Выяснено, что главными факторами дифференциации почв и растительности являются перераспределение рельефом влаги и солнечной радиации и разделение территории на два типа местностей, отличающихся друг от друга почвообразующими породами, высотным уровнем и характером рельефа. Установлена зависимость плотности связей, оцененных по коэффициентам детерминации уравнений, от размера операционной территориальной единицы (ОТЕ) (разрешения цифровой модели рельефа - ЦМР) и неодинаковое влияние морфометрических свойств вмещающих геосистем разного размера и ранга на почвенно-растительный покров. Наибольшее значение для объяснения варьирования свойств трав, кустарников, цвета почв, чувствительных к увлажнению, имеют морфометрические характеристики рельефа геосистем самого локального масштаба размерами 90-150 м (примерно ранг урочища) при размере ОТЕ 30 м (примерно ранг фации). Это зависимости фациальных различий увлажнения от морфометрических параметров вмещающих их участков гребней, сложенных элювием пермо-триасовых красноцветов и эрозионных ложбин. В пределах возвышенных пластово-эрозионных равнин наиболее ярко проявляется дифференциация трав, кустарников и цвета почв, связанная с перераспределением влаги рельефом. Основной процесс, влияющий на пространственную дифференциацию в данном масштабе, - сдувание снега с сыртов и накопление его в узких ложбинах и соответствующая весенняя влагозарядка почв днищ ложбин. Геосистемы более крупных размеров 450-800 м и 1800-2520 м незначимы для свойств почв и растительности, чувствительных к потокам влаги. Для других свойств компонентов напротив, именно такие уровни дифференциации играют главную роль. Так, выделяется группа осей дифференциации растительности и почв, связанных в первую очередь с разделением территории на возвышенные и низменные сектора, обусловленные тектоническими процессами и карстом в соленосных отложениях перми. После перераспределения влаги, разделение на местности – второй по значимости эффект в дифференциации травостоя, почв и кустарников. В травостое сразу несколько осей дифференциации подчеркивают различие между местностями. Эти переменные интерпретируются как общие различия между местностями, различия в группе степных сообществ и различия в группе интразональных и экстразональных сообществ (солончаки и солонцы, луга и т.п.). Влияние разных типов местностей на травостой определяется, во-

первых, разной степенью иссушения почв и их карбонатности в разных типах местностей: на низменных аккумулятивных равнинах (по берегам долины ручья Тузлукколь) почвы в среднем более карбонатны, практически отсутствуют ложбины и в целом гораздо меньше площадь луговых сообществ, кустарниковых зарослей нет, небольшие лесные колки встречаются только вдоль ручья. Залегающие здесь суглинистые породы малокаменисты и гораздо плотнее элювия пермо-триасовых красноцветов, слагающих возвышенные массивы, в связи с чем увеличивается плотность и разогрев почвы. В целом эти местности более иссушены и схожи с южными, а не типичными степями. Похожий процесс наблюдается на крутых южных склонах, сильно иссушаемых солнцем и с более карбонатными почвами в связи с близостью карбонатного красноцветного элювия. Чувствительность свойств травостоя к различию между местностями интерпретируется как чувствительность групп видов к локальным различиям теплообеспеченности, так как склоны южной экспозиции по некоторым признакам близки к аккумулятивным равнинам. Поэтому наблюдается зависимость этих свойств от морфометрических характеристик рельефа, вычисленных для участков с размерами 210 – 330 м, что сопоставимо с наиболее широкими ложбинами на массиве Южный Кармен. Изменения размера ОТЕ до 90 м (примерно ранг урочища) и 360 м (примерно ранг группы урочищ в пределах единой степени эрозионно-тектонического преобразования территории) дает резкое снижение значений коэффициентов детерминации от 0,30-0,35 до 0,10-0,15. Это свидетельствует, что слабо выражены общие правила зависимости ландшафтных единиц ранга близкого у урочищу и группе урочищ от вмещающих крупных геосистем с размерами порядка нескольких тысяч метров. Тем не менее, ОТЕ с линейными размерами 90 м подчиняются, прежде всего, вмещающим геосистемам с размерами 270-450 м. ОТЕ с линейными размерами 360 м не имеют однозначно выраженной зависимости от какого-либо предпочтительного уровня вмещающей геосистемы, т.е. коэффициенты детерминации малы и примерно равны для разных окрестностей в диапазоне 1080-5400 м. Следовательно в иерархической организации ландшафтных систем эти уровни не участвуют, то есть нет современных или палео-процессов, которые проявлялись бы в этом диапазоне масштабов, оказывая влияние на свойства почвенного и растительного покрова. Выявление характерного пространства межкомпонентных связей осуществлено для среднетаежного полигона в Архангельской области путем построения серии аналогичных мультирегрессионных уравнений при размере ОТЕ 30 м (примерно ранг фации) и 400 м (примерно ранг урочища) и при гипотетических размерах влияющих на почвенно-растительный покров окрестностей, линейный размер которых превышает линейный размер ОТЕ в 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15 раз. Анализ показал, что при разрешении 400 м, как и при разрешении 30 м, наилучшую связь с характеристиками рельефа демонстрирует травянистый ярус растительности, однако плотность связи заметно ниже (рельефом окрестностей описывается 17-31 % варьирования при разрешении 400 м против 27-46 % при разрешении 30 м). При этом наибольшие показатели характерны соотношения лесных и болотных видов. Реализуется эта связь наилучшим образом в окрестности 1200-2800 м, т.е. на уровне местностей, что согласуется с ландшафтной структурой территории (наличие нескольких ярусов рельефа, характеризующихся разной степенью дренированности). Достоверной связью с рельефом на уровне местностей также характеризуется соотношение мезофитных и гидрофитных видов травостоя (коэффициент детерминации 18-28 %). Соотношение лесных и луговых видов травостоя, т.е. фактор антропогенной нарушенности, характеризуется также довольно высокими коэффициентами детерминации, но проявляется эта связь с рельефом наилучшим образом уже на уровне ландшафтов (окрестность 6 км), что отражает адаптацию хозяйственных приоритетов (сельское хозяйство против лесного) к контрастам групп дренированных и недренированных местностей. Другие факторы дифференциации травостоя, статистически значимо связанные с рельефом при размере ОТЕ 30 м (например, соотношение эвтрофных и бореальных видов), но при размере 400 м уже не определяются морфометрическими

характеристиками, что объясняется обусловленностью распределения этих видов именно локальными (фациально-урочищными) особенностями рельефа. Для древесного яруса также характерно снижение тесноты связи при увеличении размера ОТЕ от 30 до 400 м. Наилучшим образом описывается рельефом, как и в крупном масштабе, соотношение неморальных и бореальных видов, при этом максимальный коэффициент детерминации характерен для минимальной окрестности (1200 м), т.е. для перераспределения элементов минерального питания более важны различия элементов мезорельефа. Связь других факторов дифференциации древостоя с рельефом проявляется иначе, чем в крупном масштабе. Во-первых, становится значимой с достаточно высокими коэффициентами детерминации связь с морфометрическими характеристиками рельефа фактора «бедности-богатства». По-видимому, на этом уровне (окрестность 6 км) начинают проявляться ландшафтные различия, связанные с преобладанием на поверхности либо бедных четвертичных отложений, либо богатых карбонатных пермских коренных пород. Во-вторых, наоборот, становится статистически недостоверной связь с рельефом фактора, определяющего соотношение боровых и болотных видов, поскольку заболачивание проявляется на уровне урочищ внутри одной местности в связи с рисунком мелких разрывных нарушений, разделяющих ступени рельефа. Для кустарничкового яруса при разрешении 400 м проявилась связь чувствительности к богатству субстрата с рельефом. Кустарниковый и мохово-лишайниковый ярусы, мощности, цветовые характеристики и механический состав почвенных горизонтов при разрешении 400 м во всех масштабах практически не связаны с рельефом. Оптимальен для описания их дифференциации размер операционной единицы 30 м что обусловлено приоритетной чувствительностью к неоднородностям микро- и даже нанорельефа, локальным условиям перераспределения влаги и минерального питания. В целом, при увеличении размера ОТЕ связь мобильных компонентов ландшафта с рельефом заметно ухудшается.

Вторая группа результатов включает исследование регионально-специфичных моделей структуры межкомпонентных связей. Применены методы канонического анализа и мультирегрессионных уравнений связей между группами свойств компонентов. Во всех изученных регионах (Архангельская, Костромская, Калининградская, Тюменская области, республика Удмуртия) лесной зоны, независимо от подзональной принадлежности, степени континентальности и генезиса ландшафта наиболее связанным, или, по крайней мере, одним из двух наиболее связанных, с травостоем компонентов является древостой. Особенно выделяется связь с древостоем в заболоченной средней тайге Западной Сибири, что отражает ведущий вклад тесных внутрифитоценологических связей с эдификаторами лесных сообществ. В пару наиболее сопряженных с травостоем компонентов входит кустарниковый ярус. Следовательно, кустарниковый ярус оказывает влияние на травостой, и, с высокой вероятностью оба они сопряжены с древесным. Напротив, кустарничковый и мохово-лишайниковый ярусы («конкуренты за пространство» из-за близких размеров растений) почти во всех регионах имеют гораздо меньшую общность факторов дифференциации с травостоем. Возможно, подчиняться разным факторам, по крайней мере, частично, - это и есть способ сократить конкурентные отношения и сосуществовать в пространстве. В средней тайге сопряженность мхов и кустарничков с травостоем несколько большая, чем в зоне смешанных лесов и южной тайге. Значимость набора и мощности почвенных горизонтов для дифференциации напочвенного покрова во всех регионах больше, чем значимость мохового яруса. Однако почти всегда (за исключением Удмуртии) травостой имеет меньше общности по факторам дифференциации с почвенными горизонтами, нежели с древостоем и кустарниками (в последнем случае исключение также – Западная Сибирь). В средней тайге значимость строения почвенного профиля сопоставима со значимостью яруса кустарничков, в южной – заметно меньше. В зоне смешанных лесов травостой более связан со строением почв, чем с кустарничками. Механический состав и цвет почв во всех случаях менее значимы,

по сравнению с внутрифитоценотическими влияниями. Некоторым исключением является Куршская коса, где факторы, управляющие цветовыми характеристиками почв и травостоем более близки, чем факторы дифференциации травостоя, кустарничков и мхов. Ландшафты среднетаежной подзоны характеризуются наибольшей сопряженностью травостоя с другими компонентами, причем это не зависит от степени заболоченности (то есть пропорций ландшафтов двух типов – лесного и болотного). Ландшафты пластовых равнин зоны смешанных лесов Удмуртии характеризуются наибольшей независимостью травостоя от других компонентов. В то же время только там строение почвенного профиля оказывается наиболее сильно сопряженным с травостоем свойством. Это следует связывать с большой геохимической контрастностью почв на лессовидных суглинках, песках и коренных пермских карбонатных породах. Территориальная близость точек опробования, а, следовательно, и относительно невысокая степень ландшафтного разнообразия, способствует более высокой сопряженности травостоя со всеми свойствами ярусов растительного покрова и почв. Это свидетельствует о локальности однотипных межкомпонентных отношений. На территории, охватывающей разнообразие ландшафтного уровня (Архангельский полигон в целом по сравнению с урочищно-внутриместностным и фациально-урочищным уровнем) проявляются разнообразные типы межкомпонентных отношений, нивелирующие друг друга. Но связи древесного и кустарникового ярусов более плотные именно на ландшафтном уровне. Внутрифитоценотические отношения оказываются более значимыми на урочищно-внутриместностном уровне, а отношения травостоя с почвами – на фациально-урочищном. В средней и южной тайге именно травостоем в наибольшей степени сопряжен со строением почвенного профиля (набор и мощности горизонтов), по сравнению с другими ярусами растительного покрова. В зоне смешанных лесов его сопряженность с почвами меньше, чем у древостоя. В зоне тайги с почвой в большей степени связаны низкие ярусы (травы и кустарнички, в Сибири – мхи), в зоне смешанных лесов – высокие ярусы (деревья и кустарники).

Третья группа результатов включает зависимости между характерным пространством межкомпонентных связей в ландшафте, иерархическим уровнем их проявления и устойчивости структуры ландшафта к внешним естественным и антропогенным воздействиям. При изменении размера анализируемой выборки появляется возможность и необходимость сравнить исходную и новую выборки по типам статистического распределения данных. С точки зрения изучения структуры ландшафтов это означает проверку гипотезы о наличии равновесного процесса, определяющего пространственное распределение значений свойств компонентов между контрастными элементами пространственной структуры. Если значения анализируемых свойств подчиняются нормальному распределению и при этом есть статистически достоверная связь между ними, то это означает следующее. Внутри анализируемой территории есть внутренние различия, но преобладают значения свойств близкие к среднему, а отклонения от среднего в обе стороны более или менее строго уравновешены. Отклонения от средних значений обусловлены некоторым ландшафтоформирующим процессом, который на разных участках территории действует с разным знаком. Сравнение результатов анализа для Куршской косы и Обской террасы показывает неодинаковую степень интеграции этих лесоболотных ландшафтов с похожим эоловым рельефом. На Куршской косе практически нет факторов дифференциации компонентов, которые имели бы нормальное распределение в лесоболотном ландшафте. На Оби таких факторов довольно много, что показывает наличие общих единых процессов. На Оби все факторы, нормально распределенные в лесоболотном ландшафте, относятся к числу третьестепенных, то есть определяют очень небольшую долю варьирования. При этом абсолютное большинство взаимосвязанных в лесной группе урочищ факторов (увеличивающих корреляцию при исключении болот) подчиняется нормальному распределению, что свидетельствует о

равновесности ряда ландшафтоформирующих процессов. К ним относится сукцессионный фактор, что отражает единое время формирования растительного покрова (после пожара 1864 г.) при наличии отклонений, связанных с периодической локальной оконной динамикой и, возможно, сохранением наследия допожарных древостоев, то есть сохранность убежищ от пожара. Существенные контрасты почвенно-растительных комбинаций еще не сформировались, велико пересечение ареалов почвенных и растительных признаков, не выражена специализация фитоценозов по почвенным условиям. Имеет место относительная взаимонезависимость большинства изученных почвенных и растительных признаков до некоторой возрастной стадии (около 80 лет). Имеет место разнообразие сукцессионных состояний фитоценозов, в некоторой степени связанное с ходом процессов оподзоливания и гумусонакопления. Но тогда следует трактовать разнообразие как положение на разных стадиях развития и ожидать тенденцию к нарастанию контрастов по мере старения фитоценоза (который еще не достиг возраста формирования первого яруса древостоя зонального типа с преобладанием кедра). Сопряженное саморазвитие почв и фитоценоза должно привести к росту внутренней контрастности группы лесных урочищ. Исходная почвенно-литогенная дифференциация не является в группе лесных урочищ фактором дифференциации фитоценозов. Зато фитоценоз постепенно сам создает эту дифференциацию, не сильно подчиняясь геоморфологическим различиям. Общее правило ослабления связей при переходе с уровня лесоболотного ландшафта на уровень группы лесных урочищ на обоих полигонах свидетельствует о фундаментальном значении неравновесных ландшафтоформирующих и ландшафтодифференцирующих процессов. В обоих случаях они связаны с прогрессирующей дивергенцией лесных и болотных урочищ. Обособление этих групп обязано общему в масштабах обоих ландшафтов процессу перераспределения влаги между палеозоловыми положительными и отрицательными формами рельефа. Развитие органогенных горизонтов мощностью более 10 см на Оби и Куршской косе разрушает почвенно-фитоценотические и внутрифитоценотические связи, существующие при отсутствии органоаккумуляции. Органическое вещество экранирует влияние свойств минеральных горизонтов почв на фитоценоз: фитоценоз одинаков даже при различном строении минеральной части почв. На Куршской косе оподзоливание и гумусонакопление как процессы, одновременно присутствующие в зональных условиях смешанных лесов, уравновешены за пределами заболоченных участков. Наиболее типичны песчаные почвы с очень слабой дифференциацией профиля на маломощные гумусовый и подзолистый горизонты. Они соответствуют условиям фоновой высокой дренированности бедных песчаных почв дюн и плоских поверхностей морских террас. Отклонения от средних значений в сторону отрицательных значений связаны с прогрессирующим неравновесным на фоне ландшафта гумусонакоплением на «моренном острове» и в урочищах с относительно близким положением богатых грунтовых вод. Отклонения в сторону положительных значений фактора связаны с развитием подзолов процесса на сухих вершинах дюн. Отклонения от фоновых значений сопровождаются параллельными изменениями древесного (соотношение хвойных и широколиственных пород), травяного (соотношение ксеромезофитных и мезофитных видов) и мохово-лишайникового (соотношение лишайников и зеленых мхов) ярусов. Распределение азотного питания также уравновешено за пределами заболоченных участков. Накопление в нитрофильных местообитаниях компенсируется выносом из боровых местообитаний. Вариации сопровождаются параллельными изменениями древесного, травяного и мохового ярусов (соотношение видов боровых и нитрофильных местообитаний). Перераспределение влаги за пределами заболоченных участков указывает на сдвиги равновесия, которые проявляются в развитии мохового покрова, распределении древостоя, трав.

Четвертая группа результатов включает реализацию методики картографирования целостных ландшафтных систем. Смысл выделения классов рельефа и соотнесения их с

ландшафтными характеристиками на разных иерархических уровнях многозначен. Во-первых, выработаны основания для ландшафтного картографирования, т.е. выделения таких однородных в геоморфологическом смысле территорий, которые однородны и по почвенно-растительному покрову. Выявление резонансного уровня взаимодействия тех или иных свойств ландшафта с рельефом позволяет установить характеристики ландшафта, наиболее отзывчивые к каждому уровню организации рельефа (а точнее к пространственным изменениям свойств рельефа на данном уровне, к переходам от одного класса рельефа к другому). В Удмуртии на самом высоком уровне организации рельефа с характерными размерами около 6 км имеются основания для подразделения геосистем по признаку соотношения широколиственных и хвойных пород деревьев, т.е. по степени проявления таежных и широколиственнолесных зональных свойств соседних зон) в зоне смешанных лесов. Поскольку с соотношением этих групп древесных пород находятся в тесной связи группа кустарников, то как сопутствующий классификационный признак можно использовать и состав кустарникового яруса. В то же время, структуры рельефа с характерными размерами 3,6 км хорошо выявляют геосистемы с существенными различиями по влажности местообитания, к которым отзывчивы другая группа древесных пород (способные произрастать на болотах сосна и береза против избегающих болот ели, пихты и осины). Поэтому на этом уровне подразделяются геосистемы переувлажненные (болотные) и нормально увлажненные, а в качестве диагностических признаков выступает набор перечисленных выше видов деревьев, а также сопутствующих им кустарников. Наконец, к еще более низкому уровню организации рельефа со структурами порядка 2 км, приурочены различия чувствительных к влажности свойств почв, в частности степени окисленности с ожелезнением и оглеенности с обезжелезнением почвенного профиля, отражаемой цветовыми характеристиками, а также интенсивностью преобразования подстилки в гумус (замедляющегося при недостаточной дренированности). Характеристики древесного и кустарникового ярусов на этом уровне можно считать второстепенными и не учитывать в диагностике геосистем. Во-вторых, сопоставление факторов дифференциации почвенно-растительного покрова с уровнями организации рельефа позволяет выявить в первом приближении основные современные и палео-процессы, ответственные за пространственные различия почвенно-растительного покрова. Структуры рельефа с характерными размерами 2 км четко показывают не только малые долины, но и их участки с разной морфологией, в том числе концентрирующие и рассеивающие сток. Зная, что к этому уровню чувствительны такие свойства почв, как оглеенность и окисленность, можно констатировать, что этот уровень соотносится с перераспределением влаги с грунтовым стоком, который в зависимости от рельефа либо выходит на поверхность (с следствием в виде оглеения почв), либо происходит на значительной глубине от поверхности (с следствием в виде окисленных почв с ярко ожелезненными нижними горизонтами). При этом древесный ярус может отличаться слабо (по крайней мере по обилию видов, но разумеется, возможны различия по продуктивности и жизненному состоянию). Одновременно могут существовать те или иные предпочтения древесных видов к описанным контрастам. Интерпретация показывает, что 1-й фактор дифференциации кустарников и 4-й – деревьев – это действительно чувствительность к влажности, но для обоих главным является уровень рельефа с иными размерами, а именно – 3,6 км. Следовательно, скорее всего, на них влияет процесс перераспределения влаги иного масштаба и иной природы – накопление влаги в центральных частях междуречий, отток с краевых частей междуречий (по склонам коренных увалов) и аккумуляция в главных долинах, в том числе вследствие наличия длительных пойменных режимов. Последние нехарактерны для долин малых водотоков, которые различаются структурами рельефа с размерами 2 км. Однако, есть и другие факторы, не связанные напрямую с влажностью, но чувствительные к контрастам структур рельефа с размерами 2 км. Они интерпретированы как соотношение хвойных и широколиственных пород деревьев, соотношение нетребовательной к минеральному

питанию сосны и более требовательных пород и сукцессионное состояние. С одной стороны, это указывает на различия структур рельефа размером 2 км не только по влажности, но и по составу почвообразующих отложений и приуроченности рубок и посадок разного времени к разным позициям в рельефе. Иначе говоря, возможны независимые друг от друга процессы одного масштаба. В Архангельской области основная закономерность распределения лесообразующих древесных пород — связь со структурой неотектонических блоков со средними размерами 2000 м и разным проявлением озерно-ледникового наследия на поверхности блоков разной высоты. Этот фактор дифференциации принципиально отличается от факторов, действующих на уровне 1200 м. Он в большей степени отражает палео-процессы, чем современные процессы перераспределения элементов минерального питания и влаги, действующие на уровне 1200 м.

Пятая группа результатов - проверка гипотезы о возможности разделения вкладов разномасштабных локальных и региональных процессов в варьирование свойств природно-территориальных комплексов локального уровня. Применен метод сравнения результатов мультирегрессионного моделирования при меняющемся разрешении цифровой модели рельефа как источника информации о морфометрических характеристиках рельефа — основного предиктора свойств почвенно-растительного покрова. Используются результаты крупномасштабных исследований в Архангельской области, обеспеченных цифровой моделью рельефа на основе топографической карты масштаба 1:10000. Трансектное исследование с дробным шагом описания элементарных геосистем 25 м позволило проверить гипотезу о единообразном влиянии вмещающих геосистем на все элементарные ПТК, находящиеся в пределах одной ОТЕ - условного урочища с размерами 400 м. Если каждая ОТЕ характеризуется несколькими описаниями, то легко проверяется, существуют ли некоторые общие свойства ОТЕ, благодаря которым можно ее рассматривать как одно целое, взаимодействующее со своим окружением. Если связь между свойствами фаций и свойствами вмещающих геосистем отсутствует, то подтверждается гипотеза об отсутствии целостности урочища как системы, воспринимающей влияние вышестоящей геосистемы и передающей его всем своим составным частям, то есть фациям. Если связь обнаруживается, то подтверждается гипотеза о согласованном поведении в пространстве фаций, входящих в урочище, в зависимости от варьирования свойств более крупной геосистемы. Выявлено несколько особенностей по сравнению с исследованием в ландшафтном масштабе, т.е. в пределах всего полигона. Во-первых, практически для всех свойств почвенно-растительного покрова характерен один и тот же резонансный уровень с линейными размерами вмещающей геосистемы 6000 м. Во-вторых, вообще большинство характеристик достоверно связано с рельефом в большинстве окрестностей. В-третьих, коэффициенты детерминации намного выше, чем в ландшафтном масштабе. Для локального междуречья с квазирегулярной сеткой описания через 100 м классификация рельефа с размером пиксела 400 м фактически рассматривает междуречье как единое образование без различия внутренних неоднородностей. Изменение форм соседних долин и, соответственно, степени выпуклости междуречья и напряженность латеральных связей, отражается классификацией рельефа с размером окрестности 1200 м. Наибольшую чувствительность к этому уровню организации рельефа имеют первостепенные факторы дифференциации древостоя и мощности почвенных горизонтов. Изменение поперечного профиля долин и заключенного между ними междуречья объясняется пересечением долинами поперечных неотектонических нарушений, которые маркируются вытянутыми в прямую линию долинами их притоков. Именно по этим нарушениям, видимо, происходило опускание западных секторов, обусловившее бурное развитие эрозии на склонах, смыв моренного чехла и обнажение на наиболее крутых участках коренных мергелей. Повышенное плодородие почв на дренированных склонах с близким залеганием

карбонатных пород послужило причиной не только естественного роста гумусированности почвенного профиля, но и распашки почв в последующем образовании пахотных горизонтов. В противоположность западному сектору междуречья, более увлажненный и менее плодородный восточный сохранил больше участков с естественными торфянисто-подзолистыми почвами под лесными сообществами с повышенной долей коренных хвойных пород — ели и сосны — и пониженной — вторичных мелколиственных пород. Классификация рельефа при размере пиксела 10 м и окрестности 30 м отражает интенсивность современных эрозионных процессов: наличие склонов и днищ малых эрозионных форм, водосборные понижения, небольшие изменения формы склонов. Фактически отражаются взаимоотношения соседних фаций посредством потоков вещества в катенах самого низкого ранга. В этом масштабе реализуется большинство регулярных современных процессов: распределение потоков влаги после дождей и во время снеготаяния, неравномерное залегание снежного покрова и промерзания почв, связанные с контрастами влажности почв вывалы древостоя, обусловленные различиями в освещенности различия проективного покрытия травостоя и мхов и др. В этом масштабе (на межфациальном уровне) имеет место дифференциация тех же факторов, что и на уровне 1200 м, т.е. первых по значимости факторов дифференциации древостоя и мощностей почвенных горизонтов. Таким образом, установлено два иерархических уровня, или два рода процессов, которые преимущественно управляют трансформацией органического вещества и формированием ареалов сукцессионных стадий развития древостоя. Более широкоохватный уровень (1200 м) отвечает за перераспределение влаги и почвенного мелкозема между междуречьем и соседними долинами. При увеличении окрестности до 110 м классификация рельефа перестает различать отдельные эрозионные формы, но отражает условия протекания эрозионных процессов, связанные с геологическими различиями. Выделяются участки крутых склонов, связанные с выходами мергелей и менее крутые участки, где мергели перекрыты моренными отложениями; в целом придолинный склон без выделения отдельных водосборных понижений.

Шестая группа результатов включает определение соотношения линейных и нелинейных связей между компонентами. Нелинейная составляющая уравнений межкомпонентных связей во многих случаях превышает линейную в 2-3 раза. Эффективно введение второй степени в регрессионное уравнение, что отражает наличие локальных экстремумов значений характеристик компонентов и возможность противоположных знаков отношений между компонентами на разных участках территории.

Разработанные подходы позволяют впервые на основе анализа иерархической организации межкомпонентных связей снизить субъективность выделения как однородных, так и парадинамических геосистем. Иерархические уровни и границы геосистем определяются по связи совокупности ландшафтных признаков строго количественно. Знание об установленных иерархических уровнях рельефа, контролирующего пространственное варьирование плеяд свойств ландшафта, позволило составить серию карт целостных геосистем отдельно для каждого иерархического уровня, основанных на классификации рельефа и доказанности значимости данного уровня дробности для дифференциации некоторой плеяды свойств. Предложенные функции, отражающие связи между фактором и свойством компонента ландшафта на конкретном участке позволяет решать ряд конструктивных задач. Появляется возможность для применения эргодического подхода при прогнозировании изменений ландшафтов при внешнем воздействии, т.е. для моделирования временных изменений при помощи знания ареалов единой реакции на воздействие. Если известно, что каким-либо образом претерпит изменение ведущий фактор организации территории, то знание функции связи его с компонентами ландшафта позволяет принять за модель будущих изменений

состояние того участка территории, где современные значения фактора соответствуют прогнозируемой степени воздействия. С точки зрения планирования природопользования выявление иерархического уровня проявления связи может иметь принципиальное значение, так как позволяет определить степень универсальности практических рекомендаций и привязать проектные решения к особенностям конкретных территорий или видов ландшафтов.

Методы и подходы, использованные в ходе выполнения проекта

В ходе реализации проекта применен набор статистических методов анализа данных, ряд из которых применен впервые применительно к ландшафтным системам.

Метод уравнений межкомпонентных связей применяется для оценки сопряженности одного свойства фактора дифференциации) компонента с совокупностью факторов дифференциации другого компонента. Строятся мультирегрессионные уравнения второй степени, в которых в качестве зависимых переменных выступает фактор дифференциации того или иного компонента ландшафта, а в качестве независимых – совокупность факторов дифференциации другого компонента. Это одноуровневые модели связей, однако изменения содержания выборки, отражающего изменение анализируемого уровня ландшафтного разнообразия, позволяют найти тот иерархический уровень, на котором связи наиболее совершенны. Высокая плотность связей является показателем взаимоадаптированности компонентов геосистем в пределах геосистемы некоторого более высокого ранга, гетерогенность которой обусловлена существованием того или иного градиента, в зависимости от положения на котором происходит сопряженное изменение связанных свойств. Это метод полимасштабного анализа, позволяющий определить степень взаимосвязанности компонентов внутри вышестоящей геосистемы, определяемой не по размерам, а по уровню внутреннего разнообразия (по составу выборки). Он позволяет выявить типологическую принадлежность геосистемы, в которой существует единый внутренний фактор дифференциации и, соответственно, ее ареал.

Метод резонансных уровней применен впервые для определения иерархических уровней организации рельефа, свойства которых контролируют состояние геосистемы анализируемого ранга. Строятся мультирегрессионные уравнения второй степени, в которых в качестве зависимых переменных выступает фактор дифференциации того или иного компонента ландшафта, а в качестве независимых – совокупность морфометрических характеристик рельефа в окрестности, размер которой отражает гипотезу о размере вышестоящей контролирующей геосистемы. Как критерий резонансного уровня используется максимальное значение коэффициента детерминации среди уравнений составленных для разных окрестностей. Метод позволяет установить основания (критерии, информативные свойства компонентов) для классификации геосистем на разных иерархических уровнях. Это метод полимасштабного анализа, позволяющий определить размеры вышестоящей геосистемы при фиксированном размере нижестоящей геосистемы. По размерам вышестоящей геосистемы, опираясь на представление о связи между характерным пространством и характерным временем процесса, можно выдвинуть гипотезу о природе и времени проявления процесса, создающего единство вмещаемых геосистем более низкого ранга при близком диапазоне характеристик вмещающих геосистем.

Метод варьирующего разрешения используется для определения иерархического уровня геосистемы, который чувствителен к характеристикам вышестоящей геосистемы. Подлежат сравнению модели связи, построенные для операционных территориальных единицы разного размера (разрешения) при одинаковом гипотетическом размере контролирующей вышестоящей геосистемы или при одинаковой пропорции между размерами операционной территориальной единицы и размерами гипотетической вмещающей геосистемы. Разновидностью анализа является использование в качестве предиктора (независимой переменной) характеристики, измеренной двумя различными

способами: применительно к описанной в поле территориальной единицы (например, фации) и применительно к описанной по картографическим материалам вмещающей ее единице (например урочищу). Это метод полимасштабного анализа, позволяющий определить размеры нижестоящей геосистемы при фиксированном размере вышестоящей геосистемы.

Метод линейных и нелинейных моделей заключается в сравнении качества (коэффициентов детерминации и уровня значимости) регрессионных уравнений межкомпонентных связей первой и второй степени. Метод позволяет выявить вклад нелинейной составляющей во взаимодействии компонентов (неаддитивную составляющую). В качестве разновидности применяется сравнение параметрических и непараметрических коэффициентов корреляции, которые должны быть близки при линейной форме отношений и отличаться – при наличии нелинейной составляющей.

Метод остатков используется для выявления группы геосистем, которая в наилучшей степени с минимальными отклонениями подчиняется выявленной зависимости. Территориальная привязка геосистем с минимальными остатками от регрессионных уравнений позволяет выявить ареал проявления ландшафтоформирующего процесса. Геосистемы с малыми остатками интерпретируются как обладающие хорошей взаимной адаптацией компонентов геосистем по какому-либо градиенту среды. Геосистемы с большими остатками интерпретируются как не обладающие взаимоадаптацией компонентов. От величины остатков зависит интерпретация вида устойчивости геосистемы.

Метод канонических корреляций используется для определения меры сопряженности двух групп свойств, характеризующих два компонента ландшафта. Выясняется, насколько велика общность факторов дифференциации двух компонентов. Это наиболее общий и наиболее грубый показатель межкомпонентных связей, но позволяет ранжировать компоненты по степени влияния на какой-либо компонент и ранжировать территории исследования по степени взаимосопряженности компонентов.

Метод гистограмм используется для определения подчиненности свойства нормальному распределению, для проверки гипотезы об уравновешенности отклонений от фоновых значений и наличии процесса, который может удалять ландшафт от равновесного состояния. Метод используется в совокупности с расчетом коэффициентов корреляции между индивидуальными свойствами ландшафта.

Метод расчленения выборки используется для проверки гипотезы о неодинаковости факторов, действующих на разных иерархических уровнях организации ландшафта. Основным инструментом служит сравнение качества моделей межкомпонентных связей, полученных для разных уровней ландшафтного разнообразия и степени подчиненности их нормальному распределению. В равной степени варьирование состава выборки может служить для сравнения плотности связей на разных сукцессионных стадиях или при разной интенсивности того или иного процесса.

Метод постериорных вероятностей применяется для определения степени соответствия совокупности свойств типичным значениям для выделенных каким-то образом дискретных классов другого компонента. Метод позволяет выделить геосистемы с высокой адаптацией одного компонента к другому и геосистемы в переходных, потенциально неустойчивых состояниях. Последние имеют свойства, характерные сразу для нескольких классов и могут быть смещены случайными воздействиями к более определенному для того или иного класса состоянию. Постериорные вероятности принадлежности к нескольким классам используются для расчета меры неопределенности классификационной принадлежности по формуле Шеннона.

Метод классификации по регрессионным коэффициентам позволяет разделить территорию на геосистемы с единством типа межкомпонентных отношений. Метод применяется для выделения территорий, в которых свойства индивидуальных геосистем зависят от свойств рельефа вмещающей геосистемы одинаковым образом. Интерпретация

полученных классов позволяет выявить и нанести на карту ареалы проявления ландшафтоформирующих процессов, особенности протекания которых определяются или индицируются рельефом.

Метод дискриминации групп свойств компонентов классами рельефа используется для определения оптимального количества классов рельефа, отражающего дифференциацию почвенно-растительного покрова. Предварительно выявляется оптимальный (резонансный) иерархический уровень организации рельефа, контролирующей состояние свойств индивидуальных геосистем. Затем производится классификация рельефа территории по морфометрическим характеристикам резонансной окрестности, которая одновременно является ландшафтной классификацией, так как на предыдущем этапе доказано сопряженное с варьированием в пространстве морфометрических свойств рельефа изменение свойств почвенно-растительного покрова.

Библиографический список публикаций по проекту

Хорошев А.В., Артемова О.А., Матасов В.М., Кошечева А.С. Иерархические уровни взаимосвязей между рельефом, почвами и растительностью в среднетаежном ландшафте // Вестник Московского университета, серия 5 география. 2008. № 1. С. 66-72

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. Материалы межрегиональной научной конференции 13-15 мая 2008 г. Киров: Изд-во ВятГГУ, 2008. С. 58-62

Хорошев А.В., Алещенко Г.М. Методы выделения геосистем с единством межкомпонентных отношений // География и природные ресурсы. 2008. № 3. С. 120-126
Khoroshev A. V., Aleshchenko G. M. Methods to identify geosystems with a commonality of intercomponent relationships // Geography and Natural Resources. Vol 29. No. 3. 2008. P. 267–272

Хорошев А.В. К вопросу о полимасштабности структурной организации ландшафта // Современные проблемы ландшафтоведения и геоэкологии. Материалы IV Международной научной конференции, посвященной 100-летию со дня рождения профессора В.А.Дементьева. Минск: Изд. центр БГУ, 2008. С. 45-47

Кошечева А.С., Хорошев А.В. Планирование многофункционального лесопользования на ландшафтной основе // Экологическое планирование и управление. 2008. № 2(7).

Немчинова А.В. Хорошев А.В. Состояние биоразнообразия в Костромской области и подходы к его сохранению // Принципы и способы сохранения биоразнообразия: материалы III Всероссийской научной конференции / Мар. гос. ун-т. – Йошкар-Ола; Пушино, 2008.с. 628

Немчинова А.В., Хорошев А.В., Иванова Н.В., Носкова О.Н. Состояние биоразнообразия Поветлужского края //Поветлужье: проблемы, тенденции и перспективы социокультурного развития: материалы межрегиональной научно-практической конференции, г. Шарья, 18 апреля 2008 г./ сост. А.М. Базанков, А.П. Липаев.- Шарья: Шарьинский филиал КГУ им. Н.А. Некрасова, 2008, с.298

Хорошев А.В. Ландшафтно-экологические ценности при планировании лесопользования // Лесоведение. 2009. № 6. С. 64-72

Khoroshev A. V .Multilevel analysis of landscape structure for land use decisions // J.Breuste, M.Kozova and M.Finka (Eds.) European Landscapes in Transformation: Challenges for Landscape Ecology and Management. European IALE Conference 2009. Salzburg, Bratislava, 2009. P.245.

Khoroshev A. Multilevel analysis of landscape structure // Kanka R., Barancokova M., Krajci J., Dugova O. (Eds.). Landscapes – theory and practice. Abstracts of the 15th International Symposium on problems of Landscape Ecological Research. Bratislava, 2009. P.102. P. 78.

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

Хорошев А.В., Меркалова К.А., Алещенко Г.М. Полимасштабная организация межкомпонентных отношений в ландшафте // Известия РАН. Серия географическая. 2010. № 1. С. 26-36.

Хорошев А.В. Рельеф как фактор полимасштабной организации межкомпонентных связей в лесных ландшафтах Восточно-Европейской равнины // Вестник Московского университета, серия 5 география. 2010. № 3. С. 35-42

Khoroshev A., Brusilovskaya E.O. Determination of appropriate space scale for land use decisions based on multilevel modeling of landscape processes // Landscape structures? Functions and management: response to global ecological change. International conference in Landscape ecology. Book of abstracts. Brno, 2010. P. 114.

Хорошев А.В. Иерархическая организации межкомпонентных связей в лесных ландшафтах Восточно-Европейской равнины // Известия РГО. 2010. Т. 142. Вып. 5. С. 9-16
Khoroshev, A., 2010: Multilevel analysis of landscape structure for land use decisions. In: Barančoková, M., Krajčí, J., Kollár, J., Belčáková, I. (eds.), Landscape ecology - methods, applications and interdisciplinary approach. Institute of Landscape Ecology, Slovak Academy of Sciences, Bratislava, p. 99-112. ISBN 978-80-89325-16-0