

## ***Результаты проекта РФФИ 11-05-00954 (2011-2013)***

Руководитель: А.В.Хорошев

Исполнители: Г.М.Алещенко, И.А.Авессаломова, М.А.Хрусталева, К.А.Мерекалова, А.П.Еремеева, Б.П.Шевченко, С.А.Садков, А.С.Кощева, Г.М.Леонова, У.К.Байгабулова,

**Задача проекта 1: провести интерпретацию физического содержания факторов дифференциации (ландшафтоформирующих процессов) компонентов ландшафта для урочищного, местностного, ландшафтного, регионального уровней ландшафтного разнообразия.**

Снижение размерности данных, полученных в пяти лесных и одном степном ландшафтах методом многомерного шкалирования, показало, что варьирование значений абсолютного большинства измеренных в поле переменных описывается мультирегрессионным уравнением второй степени на 60-80 % четырьмя независимыми осями. Наиболее высоко качество описания древесного и мохового ярусов, мощности почвенных горизонтов, ниже - механического состава и цветовых характеристик почв. Результаты интерпретации осей дифференциации свойств ландшафта показывают, что ведущими факторами для всех компонентов во всех регионах являются влажность и трофность.

Ось трофности трактуется как обеспеченность почв и вод, главным образом, основаниями. Это свойство отражается на соотношении в ландшафте свойств, присущих более северным и более южным ландшафтными зонам и подзонам. Например, в зоне смешанных лесов свойства, подчиняющиеся оси трофности, отражают соотношение признаков, свойственных таежным и широколиственнолесным ландшафтам. Азотообеспеченность выделена как отдельная ось, поскольку в геоботанике давно выделена нитрофильная группа видов, образующая очень своеобразные легко распознаваемые на местности сообщества. Ось влажности во всех случаях входит либо в первую пару (чаще), либо в первую тройку главных факторов. В регионах с разным увлажнением, перераспределение влаги является важнейшим следствием разнообразия форм рельефа и положения геологических границ, определяющего места разгрузки грунтовых вод. Помимо взаимонезависимых осей трофности и влажности для многих свойств фитоценоза и почв имеет большое значение принадлежность к той или иной стадии восстановительной сукцессии после рубок или наследие антропогенного воздействия в виде старопашотных горизонтов почв. Ось опесчаненности имеет отдельное значение по сравнению с осью трофности несмотря на близкий смысл, связанный с обогащенностью, как правило, суглинков питательными веществами по сравнению с песками. Однако бывают случаи нарушения прямого соответствия: например, когда происходит разгрузка богатых грунтовых вод на склоне или на пойме через песчаные почвы. Если ось трофности может в одну группу отнести геосистемы с бореальными и боровыми видами на кислых почвах с хорошо развитыми элювиальными горизонтами, то ось опесчаненности выделит боровые геосистемы песчаных террас или водноледниковых равнин с самыми бедными почвами. Ось освещенности интерпретируется по связи с сомкнутостью крон, по

присутствию луговых видов под лесным пологом. Ось промерзания значима для Обского полигона, где степень выраженность гумусового и элювиального горизонтов зависит от положения кровли длительно-сезонно-мерзлого криометаморфического горизонта. При позднем оттаивании почв элювиально-иллювиальное перераспределение блокируется и формирование четко выраженного элювиального горизонта становится невозможным. Вместо него в верхней части профиля характерна слабодифференцированная толща с постепенным переходом от горизонта AEL к горизонту ELB.

**Задача проекта 2: Сравнить количество иерархических уровней организации рельефа, находящих отражение в дифференциации почвенного и растительного покрова, на территории с регулярной и с нерегулярной (с сочетанием разнотипных форм с разнообразными морфометрическими свойствами) структурой рельефа.**

В ходе выполнения проекта разработан метод разделения независимых вкладов в варьирование свойств компонентов ландшафта двух групп факторов («суперфакторов»): связанных с внутренними межкомпонентными взаимодействиями на фациальном уровне и связанных с рамочными условиями вышестоящей геосистемы. Проведено сравнение исследованных ландшафтов не только по количеству иерархических уровней вмещающих геосистем, создающих рамочные условия для урочищ, но и обоснование наличия/отсутствия эмерджентных эффектов влияния нескольких иерархических уровней на каждое описанное свойство фитоценоза и почв.

В исследованных регионах характеристики вмещающих геосистем меняются постепенно по мере удаления от водоразделов и роста расчлененности рельефа в направлении речных долин. На всех участках (кроме Куршской косы и Приобья) короткие глубокорасчлененные крутые склоны, соседствующие с относительно плоскими междуречьями, свидетельствуют о ведущей роли неотектонического фактора ландшафтной дифференциации. Поднятие сопровождается формированием глубоких разрывных нарушений, вскрывающих по бортам долин пласты коренных пород пермского (в Архангельской области и Удмуртии), мелового, юрского или триасового (в Костромской области и в ее Кологривском районе) возраста. Более пологие слаборасчлененные длинные склоны, как правило, соответствуют ареалам проявления процессов ледниковой или водноледниковой аккумуляции по бортам долин, нивелирующей контрасты доледникового рельефа. Густая сеть равномерно распределенных в пространстве слабоврезанных ложбин стока с пологим продольным профилем (большая горизонтальная и малая вертикальная расчлененность) в пределах небольшой окрестности индицирует господствующую роль для ландшафтной дифференциации современной эрозии с самоорганизацией гидрографической сети. Для среднетаежного ландшафта в Архангельской области для операционных территориальных единиц (ОТЕ) с разрешением 400 м наиболее характерный линейный размер вмещающих геосистем оценен в 1200 м. Уменьшение территориального охвата, расстояний между описанными фациями и ландшафтного разнообразия приводит к возрастанию тесноты межуровневых связей. Снижение качества моделей межуровневых связей на некоторых участках объясняется наложением эффектов

влияния вмещающих геосистем иного иерархического уровня.

Детальное крупномасштабное исследование в пределах одного балочного (лугового) урочища при меняющихся параметрах масштаба показало, что комплексное ландшафтное содержание имеют три комбинации размеров операционной территориальной единицы (ОТЕ) и размеров вмещающей геосистемы, соответственно 10 м и 210 м, 30 м и 90 м, 30 м и 330 м. Однако количество и набор значимых иерархических уровней вмещающих геосистем неодинаков для разных свойств ландшафта. Для механического состава и цветовых характеристик почв характерный размер вмещающей геосистемы оценен в 210-270 м. Для мощностей почвенных горизонтов невозможно выделить единственный приоритетный размер вмещающей геосистемы. Соотношение естественных и антропогенных признаков гумусированных горизонтов, подчиняется геосистемам с линейными размерами 330 м, независимо от размера ОТЕ. Степень дифференциации почвенного профиля отражает более узколокальные процессы в окрестности 90 м, причем лучше – при размере ОТЕ 30 м. Эти параметры обычны для вогнутых и выпуклых участков склонов, связанных с варьированием геологического строения.

Варьирование свойств травяного яруса также происходит в рамочных условиях, созданных вмещающими геосистемами нескольких рангов. Соотношение видов разных эколого-ценотических групп находится в более ярко выраженных отношениях с рельефом при размере операционной единицы 10 м, что примерно соответствует фации внутри урочища балки. Наиболее значимая окрестность 210 м соответствует характерным размерам склонов и ширине наиболее врезанной части балки ниже выпуклых перегибов. Даже небольшое изменение микрорельефа (ложбина на склоне балки, изменение продольного наклона днища), улавливаемое цифровой моделью с разрешением 10 м, отражается на видовом составе травостоя. Вторая по значимости ось, наоборот, лучше отражает более грубые подурочищные контрасты при ОТЕ 30 м. Для нее выделяются два иерархических уровня вмещающих геосистем с размерами 90 м и 330 м. Первый из них (90 м) соответствует обычным размерам выпуклых и вогнутых участков склонов, то есть чувствителен к границам участков специфического геологического строения (например, с выходами мергелей). Наличие разрывного нарушения (второй уровень – 330 м) создает контраст участков с разными возможностями хозяйственного освоения. Адаптация хозяйственных режимов и их устойчивость во времени связана именно с этим уровнем. Два иерархических уровня вмещающих геосистем с аналогичными размерами характерны для морфологического строения почв и в междуречном лесном урочище.

В южнотаежном ландшафте в Костромской области резонансный уровень отношений между характеристиками рельефа вмещающих геосистем и осями дифференциации компонентов выявляется достаточно четко для большинства осей дифференциации растительности, редко – для почв. Формы рельефа ближайших окрестностей, которые ассоциируются с индивидуальными эрозионными и ледниковыми формами, оказываются менее существенными, чем рельеф окрестностей, объединяющих группы форм рельефа. Наиболее часто максимальная связь наблюдается с рельефом в окрестности со стороны 4400 м, которая различает генетически различные территории с разной густотой расчленения, зависящей от соотношения моренных, водноледниковых, эрозионных, структурных форм. Факторы,

характеризующие перераспределение влажности (большинство из них являются главными для своих компонентов), в основном чувствительны к окрестности 4400-5200 м. Факторы, чувствительные к богатству, находятся в резонансе с рельефом в окрестности либо 1200, либо 4400 м, т.е. существуют два уровня процессов распределения трофности. В Кологривском районе сопряженность факторов дифференциации компонентов с рельефом в целом ниже, чем в других регионах, но сопоставима с региональным масштабом (Костромская область в целом). Это, безусловно, следует связывать с увеличенным, по сравнению с другими регионами, территориальным охватом наблюдений и более высоким разнообразием территории.

В пределах южнотаежных ландшафтов в Костромской области как на районном, так и на региональном уровнях охвата, эмерджентные эффекты влияния нескольких уровней вышестоящих геосистем проявляются для двух видов ландшафтных контрастов. Во-первых, это соотношение боровых песчаных местообитаний и более типичных суглинистых с пихтово-еловой тайгой, в том числе при участии неморальных видов древостоя и травостоя на дерново-подзолистых почвах с большей или меньшей степенью гумусированности. Во-вторых, единственный вышестоящий уровень недостаточен для объяснения дисперсии условий торфонакопления и сопутствующего развития видов растительности олиготрофных болот.

Для ландшафта в зоне смешанных лесов Удмуртии характерны вмещающие геосистемы со средними линейными размерами 6000 м, что соответствует контрасту широких речных долин и примыкающих к ним увалистых пластовых равнин. Крупные структуры рельефа создают наиболее значимый для территории ландшафтный контраст – между богатыми лессовидно-суглинистыми и бедными песчаными местообитаниями. Ярко проявляется «одноуровневая» зависимость от рельефа вышестоящих геосистем, где ни одна из осей дифференциации ярусов фитоценоза не обнаруживает эмерджентного эффекта рамочных условий нескольких уровней.

Как показал сравнительный анализ межуровневых моделей, возможно равноправное влияние нескольких уровней вмещающих геосистем на свойства ОТЕ. В Удмуртии соотношение процессов окисления и оглеения почв контролируется, по крайней мере, двумя уровнями вышестоящих геосистем. Процессы оглеения/окисления почв на уровне урочища, во-первых, определяются современным процессом самоорганизации стока, охватывающим ряд пространственно сопряженных урочищ (окрестность 1200 м), а во-вторых – наследием палеопроцесса тектонической дифференциации, сформировавшего разные условия для окисления-оглеения в крупных долинах, на склонах и на плоских поверхностях увалов (окрестность 3600 м). Группа осей дифференциации древостоя, связанных с сукцессионным состоянием, для которых наблюдаются два резонансных уровня вмещающих геосистем – 2800 и 6000 м, показывает смену приоритетов в выборе урочищ для лесозаготовок и лесопосадок в разные периоды.

Большое количество свойств, подчиняющихся правилу эмерджентного эффекта группы компонентов ландшафта, свидетельствует о наличии относительно целостных лесных ландшафтов, в пределах которых пространственная вариабельность подчиняется некоторым «рамочным условиям», общим для всех компонентов, хорошо адаптированных друг к другу. Среди изученных регионов это можно отнести к южнотаежным ландшафтам Кологривского района (модель районного уровня), Костромской области в целом (модель регионального уровня) и особенно –

среднетаежным ландшафтам Архангельской области. Для этих полигонов зафиксировано возрастание коэффициентов детерминации большинства уравнений, построенных для нечувствительных к мезорельефу суперфакторов, по сравнению с моделями парных отношений компонентов. Для полигона, расположенного в зоне смешанных лесов в Удмуртии, эмерджентные эффекты почти не выражены. В основном выявлены более или менее тесные парные связи компонентов, что вынуждает предполагать низкую целостность ландшафта, скорее всего обусловленную большой нарушенностью почв и относительной молодостью фитоценозов.

На примере степного ландшафта в Оренбургской области проверялась гипотеза о существовании единого правила, по которому можно описать варьирование свойств растительного покрова морфометрическими свойствами рельефа. Оценка зависимости факторов дифференциации растительного покрова от рельефа в ландшафтном масштабе, проведена с включением в мультирегрессионную модель всего массива данных Айтуарской степи (общая площадь 81,7 км<sup>2</sup>). Оценка для локального масштаба проведена с включением в модель данных в скользящем квадрате переменного размера со стороной от 270 до 1890 м с шагом 180 м. Доказано, что, в отношениях ОТЕ и вмещающей геосистемы есть нелинейная составляющая. Так как на территории Айтуарской степи характерны различия морфологической структуры ландшафта, произведен перерасчет уравнений с включением только того сектора, для которого наблюдается относительно регулярное чередование крупных балок и увалов, расчлененных поперечными лощинами, и однородное геологическое строение с регулярным чередованием субвертикально запрокинутых пластов песчаников, алевролитов, аргиллитов, известняков и конгломератов (ниже – «балочный сектор», площадь 39,8 км<sup>2</sup>). Оценка межкомпонентных связей в системе «рельеф - растительный покров» при меньшем уровне ландшафтного разнообразия и регулярной структуре рельефа в балочном секторе показала неоднозначность изменений для разных свойств растительного покрова. Для оси чувствительности фитоценозов к экспозиции склона на ландшафтном уровне связь «размывается» ввиду вероятного существования за пределами балочного сектора с регулярной структурой зависимости иного вида либо отсутствия таковой. Для свойств, чувствительных к влажности, переход к более низкому уровню ландшафтного разнообразия никак не повлиял на оценку связей, что доказывает единство типа зависимости для всего ландшафта, преимущественно между свойствами ОТЕ и геомерами с линейными размерами 1890 м. Для свойств, чувствительных к каменистости почв, произошло снижение коэффициентов детерминации, но с сохранением пикового значения для вмещающих геосистем с размерами 450 м. Таким образом, выявлена разномасштабность действия факторов. Варьирование свойств растительного покрова зависит, во-первых, от единого для всего ландшафта процесса перераспределения влаги по макроформам рельефа; во-вторых, локальными контрастами петрофитности между глубокорасчлененным и слаборасчлененным секторами ландшафта; в – третьих, - экспозиционными контрастами балочной группы местностей, обусловленными чередованием структурных сильнокаменистых и аструктурных склонов.

**Задача проекта 3: Сравнить значимость факторов дифференциации (влажность, трофность, освещенность, сукцессионная стадия и др.) для разных регионов.**

Фактор влажности является главным во всех регионах для кустарничкового и мохово-лишайникового ярусов и строения почвенного профиля. Это объясняется главным ландшафтным контрастом всех исследованных территорий (кроме степной) — суходольных и болотных урочищ. Значимость фактора влажности для травяного яруса имеет зональные различия: он выступает как главный в степных, смешаннолесных и южнотаежных ландшафтах, а в среднетаежных — уступает по значимости фактору трофности. Принадлежность к сукцессионной стадии имеет значение для дифференциации свойств как структуры фитоценоза, так и почвенного профиля. Показателем недавних нарушений лесного покрова и положения на ранней стадии восстановительной сукцессии является повышенная мощность дернового или гумусового горизонта как следствия повышенной доли злаков под редкостойными молодыми сосняками. В ландшафтах лесной зоны сукцессионный фактор почти всегда уступает факторам трофности и/или влажности и занимает по значимости второе или третье место. В степной зоне сукцессионный фактор дифференциации травяного и кустарничкового ярусов и морфологических свойств почв занимает второе место, уступая фактору влажности. Для древесного и кустарничкового ярусов во всех исследованных лесных ландшафтах фактор трофности опережает по значимости фактор влажности, за исключением заболоченного ландшафта Среднего Приобья. Сравнение среднетаежных ландшафтов, сформировавшихся при разной степени экранированности коренных дочетвертичных пород, показало существенное различие вкладов факторов разной природы в дифференциацию свойств компонентов. В ландшафте Архангельской области, где коренные карбонатные породы залегают неглубоко от поверхности и выходят на поверхность в долинах, фактор трофности имеет первостепенное значение для дифференциации древесного, кустарничкового и травяного ярусов, а фактор влажности занимает второе место по значимости. Моховый и кустарничковый ярусы, а также морфологические свойства почв контролируются, наоборот, в первую очередь перераспределением влаги в пределах ландшафта. В среднетаежном ландшафте Среднего Приобья, где коренные породы экранированы мощной толщей лессовидных суглинков, фактор влажности является основным для всех ярусов фитоценоза, кроме травяного, и морфологических свойств почв. Для травяного яруса, как и в Архангельской области наиболее значимые контрасты создаются различиями в трофности субстрата.

Сравнение смешаннолесных ландшафтов, сформировавшихся при разном соотношении латеральных (преимущественно на суглинках) и радиальных (преимущественно на песках) потоков вещества показало контрастную реакцию компонентов на основные факторы дифференциации — влажность и трофность. В ландшафтах, сформированных преимущественно на песках (Куршская коса) фактор влажности более весом, по сравнению с фактором трофности, для травяного, кустарничкового и мохового ярусов фитоценоза, а также для соотношения мощностей почвенных горизонтов. В ландшафтах, сформированных преимущественно на суглинках (Удмуртия), эта закономерность проявляется только для кустарничкового яруса и соотношения мощностей почвенных горизонтов, в то время как для остальных ярусов фитоценоза пространственная дифференциация определяется в первую очередь трофностью субстрата, а для травяного и кустарничкового ярусов на первое место

выходит фактор трофности. Независимо от преобладающего направлению потоков вещества, фактор трофности в обоих регионах является первостепенным для дифференциации древесного яруса, что отражает предпочтение хвойными (более северными) и широколиственными (более южными) породами разных участков ландшафта вследствие разной требовательности к обеспеченности почв элементами минерального питания

Сравнение значимости факторов дифференциации для урочищ с разным соотношением латеральных или радиальных потоков было проведено исследование междуречного и балочного урочищ среднетаежного ландшафта Архангельской области. В междуречном урочище для травяного, кустарничкового, мохового яруса и морфологических свойств почв ведущим фактором дифференциации является перераспределение влажности в зависимости от горизонтальной и вертикальной расчлененности рельефа. Это указывает на ключевое значение плотности стоковых систем, регулирующих концентрацию или рассеивание влаги и зависящих от густоты разрывных нарушений и самоорганизации стока. Более слаба зависимость от влажности древесного и кустарничкового ярусов, для которых ведущим фактором является трофность и сукцессионное состояние. Практически нечувствительны к вариациям рельефа вмещающих геосистем механический состав отложений и цветовые характеристики почв, что, служит свидетельством в пользу подчиненности их процессам другого, скорее всего, более узколокального, масштаба и иного характерного времени. Более высокие значения коэффициентов детерминации для большинства осей достигаются при размере ОТЕ 30 м по сравнению с ОТЕ 10 м. Так как, этот результат относится к разным компонентам ландшафта, то линейный размер целостного ПТК низшего ранга на междуречье следует оценить как минимум в 30 м. Более дробные различия отражаются лишь на отдельных свойствах, но не на ПТК в целом. Таким образом, в условиях слаборасчлененного рельефа почвы и растительность подчиняются разномасштабным системам поверхностного и подземного стока.

Внутри балочного урочища, как и междуречного, для травяного яруса и морфологического строения почвенного профиля первостепенное значение имеет также влажность субстрата, находящаяся в тесной связи с горизонтальной и вертикальной расчлененностью рельефа. Фактор трофности уступает по значению фактору влажности. Различия в механическом составе почв, а точнее – в составе почвообразующих отложений, находят яркое отражение в содержании в верхних гумусированных горизонтах обменных кальция, магния, алюминия, гигроскопической влаги, рН. Эти показатели достаточно жестко коррелируют с морфометрическими свойствами рельефа, особенно вертикальной и горизонтальной расчлененностью. Это объясняется различиями геологического строения на участках с разной расчлененностью и разной формой склона.

**Задача проекта 4: Выделить группы ландшафтных условий, в которых межкомпонентные связи проявляются наилучшим образом, то есть существуют парциальные адаптивные парагенетические геосистемы.**

Задача решалась методом анализа остатков мультирегрессионного уравнения, в котором зависимой переменной является тот или иной фактор дифференциации одного

из ярусов фитоценоза, а независимыми – совокупность факторов дифференциации почвенного покрова. Предмет анализа – ареалы в ландшафте, где действие проверяемого фактора (системообразующего процесса) ослабевает и маскируется действием других факторов. Проведено исследование двух ландшафтов, находящихся в разных ландшафтных зонах, но сходных по наличию однообразной почвообразующей толщи, преобладанию рельефа эолового происхождения, сочетанию лесных и болотных урочищ (Приобье и Куршская коса).

В среднетаежном ландшафте Приобья наибольшее внимание было уделено двум первым факторам дифференциации для каждого яруса фитоценоза. Оказалось, что зависимость обилия видов деревьев от строения почв (набора и мощности почвенных горизонтов) ослабевает в наиболее хорошо дренированных позициях – крутосклонных (более 15 градусов) долинах рек и ручьев, прирвовочных частях междуречий, узких мысообразных краевых секторах междуречий между близкими эрозионными формами. То же относится к основному фактору дифференциации трав. Вторые по значимости факторы дифференциации древостоя и травостоя в наименьшей степени связаны с почвами на вершинах эоловых бугров; при этом склоны этих же бугров отличаются более высоким уровнем детерминированности ярусов фитоценоза такими консервативными свойствами почвенного профиля, как набор и мощности почвенных горизонтов. Внутрифитоценотические связи достаточно прочны как в масштабе лесоболотного ландшафта, так и внутри группы лесных урочищ. Почвенно-фитоценотические связи резко ослабевают в группе лесных урочищ, что свидетельствует о несопряженной дифференциации компонентов в группе лесных урочищ. Существует внутренняя иерархия фитоценозов (возможно связанная с разнообразием сукцессионных стадий), но почвенный покров при этом либо можно считать несущественно контрастным для фитоценоза, либо однородным.

В смешаннолесном ландшафте Куршской косы, наоборот, почвенно-фитоценотические связи возрастают в группе лесных урочищ, прежде всего это касается связи набора и мощности почвенных горизонтов с деревьям, травами и мхами, а цвета почв — с кустарничками.

Развитие органогенных горизонтов мощностью более 10 см в обоих ландшафтах разрушает почвенно-фитоценотические и внутрифитоценотические связи, существующие при отсутствии органонакопления. Органическое вещество экранирует влияние свойств минеральных горизонтов почв на фитоценоз: фитоценоз одинаков даже при различном строении минеральной части почв.

Для исследованных ландшафтов выявлены и закартированы парциальные парагенетические геосистемы. Для каждой из которых выявлен основной системообразующий фактор, разные уровни проявления которого создают пространственную мозаичность. Основанием картирования были результаты анализа пространственного распределения остатков мультирегрессионных уравнений, связывающих свойства компонентов – членов основных плеяд связей.

Приведем пример способа выявления границ одной из парциальных парагенетических геосистем с единым системообразующим фактором на примере среднетаежного ландшафта в Архангельской области. Плеяда объединяет группу взаимосвязанных осей, чувствительных к варьированию режима влажности почв. Построена серия мультирегрессионных уравнений второй степени, в каждом из которых зависимой переменной выступает одна из осей, входящих в плеяду, а



независимыми – остальные члены плеяды. Из серии уравнений наилучшим качеством обладает уравнение, объясняющее пространственное варьирование 3-й оси дифференциации древостоя, контролирующей соотношение хвойных (ель, сосна) и мелколиственных (осина, ольха) пород. Коэффициент детерминации составляет 0,55. Анализ остатков уравнения показал, что минимальные отклонения рассчитанных значений от наблюдаемых характерны для следующих ландшафтных условий: спелые (более 70 лет) леса неглубоко-расчлененных местностей на двучленных супесчано-суглинистых отложениях, с типичным для средней тайги торфянистым горизонтом мощностью не более 25 см, с небольшим обилием березы и осины, с суммарной мощностью гумусированных горизонтов не более 20 см. Входящие в плеяду свойства почвенного профиля, кустарничков и древостоя отзывчивы к характеристикам рельефа вмещающих геосистем с линейными размерами не более 1200 м. В этих условиях можно говорить о существовании парциальной парагенетической геосистемы, в которой варьирование свойств древостоя, мхов, кустарничков и соотношения торфонакопления и суходольного таежного почвообразования контролируется водным режимом почв и длительностью стояния верховодки. Разрушается данная парциальная геосистема (и вступают в действие иные процессы) при глубоко-расчлененном рельефе, на суглинистых (не двучленных) глубокогумусированных либо торфяно-глеевых почвах, в лесах с возрастом первого яруса древостоя до 70 лет, с господством мелколиственных пород. В ареале существования данной парциальной парагенетической геосистемы единым связующим фактором служит динамика верховодки в зависимости от степени расчлененности рельефа. Сущность другой парциальной парагенетической геосистемы, образуемой 2-й плеядой, заключается сопряженной реакции древесного, кустарничкового, кустарничкового и травяного яруса на перераспределении элементов минерального питания в почвах, отражающемся в соотношении оподзоливания и гумусонакопления. Нарастание гумусонакопления свойственно урочищам глубоко-расчлененных местностей, а оподзоливания – слаборасчлененных.

**Задача проекта 5: Исследовать проблему «слабых» или «отсутствующих» связей между свойствами компонентов ландшафта.**

Теснота межкомпонентных связей несет информацию о целостности природного комплекса и возможных проявлениях его резистентной и упругой устойчивости, а также о наиболее вероятных динамических тенденциях в геосистеме, обусловленных разбалансированием тех или иных геокомпонентов между собой. Помимо наиболее очевидного случая действительного отсутствия взаимодействия, установлены следующие варианты объяснения кажущихся «слабых» связей.

1) Наследие способов землепользования может проявляться в структуре растительного покрова и в свойствах почв. Исследование на смежных участках южнотаежного заповедника «Кологривский лес», подвергавшихся рубкам в разные исторические эпохи при разной технической обеспеченности, позволило оценить наследие землепользования в специфике межкомпонентных связей. Проверка гипотезы о независимом от почв изменении соотношения эколого-ценотических групп по мере старения древостоя для ландшафтного масштаба показала достаточно сильную

подчиненность доли видов неморальной эколого-ценотической группы травостоя составу древостоя, меняющемуся в ходе восстановительной сукцессии: в коренных лесах разнообразие факторов возрастает и связи между травяным и древесным ярусом ослабевают.

2) Естественная оконная, ветровая, зоогенная динамика ландшафта приводит к формированию внешне хорошо заметных контрастов растительного и почвенного покрова, которые не обусловлены экологическими условиями, долго сохраняются в ландшафте. При сравнении урочищ-аналогов, находящихся на одной сукцессионной стадии в заповедной части ландшафта, не наблюдается прямого соответствия между почвенно-геоморфологическими свойствами и свойствами растительного покрова.

3) Неодинаковые характерные времена развития компонентов ландшафта обуславливают наличие «памяти» ландшафта, иначе говоря, несоответствий между изменившимися, в том числе по естественным причинам, свойствами одного компонента и сохраняющимися свойствами другого компонента. В среднетаежном ландшафте террасы Оби, где современный древостой формируется после пожаров 1860-х гг., существенные контрасты почвенно-фитоценотических комбинаций в пределах группы суходольных урочищ еще не сформированы, велико пересечение ареалов почвенных и фитоценотических признаков, не выражена специализация фитоценозов по почвенным условиям. Имеет место относительная взаимнезависимость большинства изученных почвенных и растительных признаков до возрастной стадии около 80 лет. Ожидается тенденция к нарастанию контрастов по мере старения фитоценоза, который еще не достиг возраста полного формирования первого яруса древостоя зонального типа с преобладанием кедра (для этого требуется около 160 лет).

4) Свойства компонентов ландшафта формируются под действием разномасштабных процессов. Несопоставимость масштабов процессов, которые контролируют предположительно взаимосвязанные свойства, может приводить к низким показателям связи. Частным случаем проблемы является несопоставимость шага описания компонентов. На примере среднетаежного (Архангельская область) и степного (Оренбургская область) ландшафтов исследована проблема влияния выбора размера операционной территориальной единицы (30 м и 400 м) на результаты исследования иерархической организации межкомпонентных отношений в ландшафте с целью разделить вклады разномасштабных факторов в пространственное варьирование свойств травяного яруса, чувствительных к влажности местообитания. Применен метод составления мультирегрессионных моделей в скользящем квадрате для оценки связей между свойствами операционной территориальной единицы, содержащей описанную в поле репрезентативную фаццию, и морфометрическими свойствами рельефа окрестности. Установлено, что для степного ландшафта основное значение имеют узколокальные процессы перераспределения влаги в окрестности 90-150 м, для лесного – как узколокальные процессы (окрестность 90 м), так и контрасты увлажнения крупных местностей (окрестность 2800 м). Малая теснота связей согласно моделям грубого разрешения (400 м), в большой степени объясняется зависимостью свойств ландшафта от узколокальных процессов. Отсюда следует, что для степного

ландшафта включение характеристик влажности местообитания в название ландшафтных единиц необходимо лишь на низшем иерархическом уровне. Для среднетаежного ландшафта характеристики увлажнения существенны как минимум для двух иерархических уровней.

5) Показатель связи зависит от территориального охвата источников информации, иначе говоря, от того какой уровень ландшафтного разнообразия охвачен полевыми наблюдениями. Например, в среднетаежном ландшафте Архангельской области единство закономерностей ландшафтной дифференциации в наибольшей степени свойственно уровням местности и группы урочищ, несколько ослабевает на уровне ландшафта («у каждой местности свои закономерности») и минимально на внутриурочищном уровне («межфациальные комбинации свойств имеют большую степень свободы»). Для среднетаежного ландшафта террасы Оби включение в модель межкомпонентных связей содоминирующих болотных и лесных урочищ, дает высокие коэффициенты детерминации в мультирегрессионных моделях межкомпонентных связей, в основном за счет контраста свойств этих групп, вызванных различиями водного режима и сопряженных с ним свойств (теплового режима, окислительно-восстановительной обстановки, микроклимата и т. п.). Исключение из модели урочищ с ясно выраженным торфонакоплением (более 20 см) дает резкое снижение коэффициентов детерминации. Таким образом, доказывается, что в пределах группы сухоходольных лесных урочищ имеет место высокое разнообразие сочетаний состояний почв и фитоценозов, то есть почвы позволяют существовать разнообразным фитоценозам. Различие фитоценозов может быть объяснено чисто внутрифитоценозическими отношениями. На основании сравнительного моделирования межкомпонентных связей при меняющемся размере операционной территориальной единицы в таежных и степных ландшафтах установлено, что ярусы фитоценоза и свойства почв могут одновременно принимать участие в полимасштабной системе межкомпонентных отношений. Большие расхождения между наблюдаемыми и предсказанными моделью грубого разрешения свойствами, как правило, объясняются наложением эффектов узколокальных процессов, которые можно установить посредством моделей дробного разрешения. Минимальный размер целостных геосистем, которые наиболее эффективно включаются в межуровневые взаимодействия большинством свойств, близок к 30 м. Если и существуют целостные геосистемы меньшего размера (около 10 м), то для их выявления требуются цифровые модели рельефа, основанные на топографических картах масштаба крупнее 1:10000.

б) Неадекватность математической модели, которая по гипотезе описывает межкомпонентную связь, может завышать или занижать показатель связи. Особенно распространен случай, когда линейные показатели связи незначимы в то время как существует параболическая связь. Например, в Удмуртии она характерна для зависимости соотношения хвойных и широколиственных пород от вертикальной расчлененности рельефа в квадрате со стороной 6000 м. Линейная связь с этим показателем отсутствует.

**Задача проекта 6: Определить степень устойчивости плеяд межкомпонентных связей в ход восстановления вертикальной структуры ландшафта после**

## **антропогенного воздействия.**

Рассмотрены три варианта постантропогенного развития: восстановление лесной геосистемы после вырубki (в подзонах средней тайги, южной тайги и смешанных лесов), лесной геосистемы – после распашки (средняя тайга), степной геосистемы – после выпаса. Проверялись альтернативные гипотезы об усилении и ослаблении внутрифитоценотических и почвенно-фитоценотических, а также о стремлении растительных сообществ к минимизации зависимости от абиотической среды связей в ходе восстановительной сукцессии. Основным предметом оценки был состав плеед, образованных коррелирующими свойствами компонентов (парциальных геосистем), прочность связей и устойчивость связей на разных иерархических уровнях (ландшафтном и местностном).

Для среднетаежного ландшафта в Архангельской области на примере массива, соответствующего ландшафтному уровню, установлено, что плееда, связывающая свойства ярусов фитоценоза с механическим составом почвообразующих отложений, наиболее ярко выражена на стадии молодых и средневозрастных лесов. Видовой состав фитоценоза адаптируется к характеристикам минерального питания и влажности, обусловленным, прежде всего вариациями строения двучленной супесчано-суглинистой толщи. Строение почвенного профиля на этой стадии в силу инертности еще носит следы почвообразования, предшествовавшего сведению леса (как правило, - в условиях распашки или существования коренного темнохвойного леса) и может не соответствовать свойствам фитоценоза. На стадии приспевающих и спелых лесов (более 70 лет), напротив, связи с механическим составом ослабевают, но более совершенной становится адаптация к морфологическому строению почвенного профиля, выраженному мощностями горизонтов. Это трактуется как следствие саморазвития вертикальной структуры ландшафта, когда уже достаточное время прошло для формирования почвенных горизонтов, соответствующих сложившейся структуре фитоценоза и стирания следов предшествовавшего почвообразования: уменьшается выраженность старопахотного горизонта, формируется торфянистый или перегнойный горизонт. Достоверного роста мощности элювиального горизонта по мере восстановления хвойного леса при этом не обнаружено. Травяной ярус может хорошо адаптироваться к строению почвенного профиля раньше других ярусов - уже при возрасте древостоя до 50 лет. Внутрифитоценотические связи между нижними подчиненными ярусами фитоценоза (кустарниковым, кустарничковым и травяным) становятся более тесными после достижения древостоем возраста 70 лет, а в заболоченной местности – после 50 лет. Если на раннем этапе формирование видového состава этих ярусов происходит относительно независимо друг от друга, преимущественно подчиняясь варьированию почвообразующих отложений, то на поздних - путем ослабления зависимости от отложений и возрастания взаимoadaptации и адаптации к параллельно меняющимся свойствам почвенных горизонтов. Таким образом, постепенно формируется парциальная геосистема, объединяющая свойства нижних подчиненных ярусов фитоценоза и почвенный профиль. Одновременно ослабевают связи в парциальной геосистеме, связывающей подчиненные ярусы фитоценоза и свойства почвообразующих отложений. Динамику отношений древесного яруса с подчиненными, судя по двум массивам данных, нельзя оценить однозначно. Для ландшафтного масштаба парциальная

геосистема с подчиненными ярусами возникает, главным образом, на ранней и особенно средней стадии развития (50-70 лет), после чего связи в этой геосистеме ослабевают, и подчиненные ярусы развиваются более независимо от древостоя, за исключением группы видов, чувствительных к трофности. Группа видов, чувствительных к влажности на старовозрастной стадии варьирует в пространстве независимо от свойств древостоя. Для заболоченной местности, наоборот, адаптивная геосистема возникает на поздней стадии развития после 70 лет и включает в себя помимо полного набора ярусов также и строение почвенного профиля. На поздней стадии формируется адаптивная парциальная геосистема, связывающая свойства древесного яруса и почвенного профиля, но в заболоченной местности эта плеяда выражена хуже из-за большей экологической пластичности фитоценоза.

В ландшафтном масштабе количество достоверных связей (как внутрифитоценологических, так и почвенно-фитоценологических) по мере приближения к старовозрастной стадии уменьшается, а в местностном – увеличивается. Следовательно, высокое ландшафтное разнообразие означает и разнообразие стратегий развития вертикальной структуры геосистем: далеко не во всех местностях ландшафта имеет место тенденция к совершенствованию взаимоадаптации компонентов, выявленная в заболоченной местности.

На урочищном уровне для выявления связи почвенно-растительных свойств среднетаежных урочищ с рельефом вмещающих геосистем были рассчитаны коэффициенты детерминации между каждой осью дифференциации почвенно-растительного покрова (рассчитанным методом многомерного шкалирования) и морфометрическими характеристиками рельефа в разных окрестностях и для разного разрешения цифровой модели рельефа (ЦМР) - 30 м и 400 м. Основная выявленная закономерность – по мере восстановления коренных фитоценозов связь растительности с характеристиками рельефа ослабевает. Это доказывается отсутствием статистически достоверных отношений между факторами дифференциации ярусов растительного покрова с рельефом в крупном масштабе (разрешение ЦМР 30 м) во всех рассмотренных окрестностях для лесов старше 45 лет. Наоборот, молодые леса характеризуются большими статистически значимыми коэффициентами детерминации, что указывает на высокую обусловленность свойств растительности характером рельефа на начальных стадиях сукцессии. Наиболее тесные связи с рельефом на фаціальном уровне (разрешение ЦМР 30 м) характерны для травяного яруса, который наиболее чувствителен к свойствам рельефом геосистемы со средним размером 90 м. Это подтверждает полученный ранее вывод, что свойства травянистого яруса в первую очередь определяются микрорельефом. В то же время отдельные свойства - соотношение лесных и луговых видов, соотношение борových и болотных видов - отзывчивы также к рельефу более крупных вмещающих геосистем - 450 м. В первом случае эта зависимость обусловлена масштабом хозяйственной деятельности человека, а во втором – характерным размером отрицательных форм мезорельефа, являющихся очагами заболачивания. Соотношение мезофитов и гидрофитов хорошо определяется свойствами рельефа на нескольких масштабных уровнях, которые соответствуют характерным размерам форм нано-, микро-, мезорельефа. Для древесного и кустарникового ярусов также характерна связь с рельефом в крупном масштабе только на начальных стадиях сукцессии. Лучше всего характеристиками рельефа описывается соотношение неморальных и бореальных, а также неморальных и

болотных видов, при этом большие коэффициенты детерминации характерны для всех иерархических уровней рельефа. При этом особенно хорошо эта связь определяется на подурочищно-урочищном уровне, т.е. на уровне элементов форм мезорельефа, по которым и происходит изменение условий минерального питания. В кустарничковом ярусе характер рельефа определяет соотношение видов по градиенту влажности, связанному с локальным перераспределением влаги на фашиально-подурочищном уровне (90-330 м). Для мохово-лишайникового покрова связь с рельефом выражена на подурочищном уровне (150-270 м) для фактора, определяющего соотношение сфагновых и долгих мхов, что соответствует характерным для района исследования фашиально-динамическим рядам по элементам форм мезорельефа.

Из факторов дифференциации строения почвенного профиля в крупном масштабе рельефом хорошо описывается соотношение процессов торфонакопления и оподзоливания. При этом высокие, статистически значимые показатели связи характерны для фашиально-подурочищного уровня, что опять-таки связано с изменением характера увлажнения по элементам форм мезорельефа. Степень детерминации этого почвенного фактора рельефом не зависит от стадии сукцессии, т.к. характерное время почвообразующих процессов много больше времени восстановления коренного фитоценоза. Связь с характеристиками рельефа на внутриурочищном уровне закономерна для почвенных процессов, приуроченных к разным звеньям катены (элементам мезоформ рельефа), а наличие достоверных связей с рельефом только в молодых лесах, по-видимому, объясняется изначально большей контрастностью условий почвообразования из-за большей расчлененности территории.

Анализ связи факторов дифференциации растительности и почв с морфометрическими характеристиками рельефа для ЦМР более грубого разрешения (400 м), игнорирующей отдельные малые эрозионные формы, подтвердил вывод об уменьшении тесноты межкомпонентных связей с рельефом при увеличении размера операционной единицы для большей части свойств мобильных компонентов независимо от стадии восстановительной сукцессии. Однако было выявлено, что статистически значимые связи факторов дифференциации травянистого и кустарничкового ярусов растительности с рельефом проявляются на разных стадиях восстановления. Фактор антропогенной нарушенности травянистого и кустарничкового ярусов и фактор соотношения боровых и гидрофильных видов травостоя описываются характеристиками рельефа только для молодых лесов, а факторы соотношения бореальных, неморальных и болотных видов трав и кустарничков теснее связаны с рельефом в зрелых лесах. Факторы дифференциации древесного яруса фитоценоза описываются морфометрическими характеристиками рельефа только на ранних стадиях сукцессии. По мере восстановления зональной древесной растительности ее связь с рельефом ослабевает. Остальные ярусы растительного покрова (кустарничковый, мохово-лишайниковый), а также свойства почв не связаны с характеристиками рельефа в рассматриваемом масштабе и диапазоне окрестностей, их дифференциация рельефом проявляется только на локальном уровне.

Для южнотаежных ландшафтов Костромской области в целом и отдельно – Кологривского района получены несколько другие результаты. Для Кологривского района количество достоверных парных непараметрических внутрифитоценологических связей максимально в молодых лесах до 40 лет и убывает с возрастом. Количество связей существенно меньше, чем в средней тайге на всех возрастных стадиях. В

областном масштабе количество достоверных парных внутрифитоценотических и почвенно-фитоценотических связей также убывает после ранней стадии.

Для Кологривского района установлен рост зависимости видового состава ярусов фитоценоза от механического состава почвообразующих отложений и цветовых характеристик почв по мере развития древостоя, но ослабление зависимости от морфологического строения почвенного профиля - результат противоположный по сравнению со среднетаежным ландшафтом. В областном масштабе более прочные почвенно-фитоценотические связи характерны для раннего этапа. Динамика внутрифитоценотических связей неоднозначна, что свидетельствует о наличии нескольких относительно независимых парциальных геосистем. Так, в масштабе Кологривского района травяной ярус наиболее сопряжен с другими ярусами на ранней и средней стадиях восстановления лесного сообщества, а кустарничковый – на поздней. Моховой ярус на ранней стадии больше сопряжен с кустарничковым и травяным, а на поздней – с древесным и кустарничковым.

В зоне смешанных лесов в Удмуртии количество достоверных попарных внутрифитоценотических связей возрастает после ранней стадии. Количество достоверных почвенно-фитоценотических связей в ряду возрастных стадий убывает. Стратегия развития смешаннолесной геосистемы в ходе восстановления лесного сообщества проявляется наиболее четко по сравнению с другими зонами: фитоценоз на ранних стадиях развивается сопряженно со свойствами почв, но при приближении к старовозрастной стадии усиливает независимость от внешней среды и внутреннюю прочность структуры.

Для среднетаежного полигона в Архангельской области в одной из местностей, обеспеченной описаниями практически для каждого урочища, было проведено исследование с целью оценить степень устойчивости плеяд межкомпонентных связей (групп взаимосвязанных свойств почв, растительного покрова, почвообразующих отложений, рельефа) по мере антропогенной трансформации структуры и постантропогенного ее восстановления в ходе сукцессий (варианты: разрушение плеяд; возникновение новых плеяд; изменение прочности связи; изменение математического вида связи). Задача решалась на примере сравнения трех схем плеяд связей, устанавливаемых по непараметрическим коэффициентам корреляции Спирмена для лесных ландшафтов, подвергавшихся рубкам или сельскохозяйственному использованию, соответственно, менее 30 лет назад (на момент полевого описания), 30-45 и более 45 лет назад. Объектом анализа были оси дифференциации компонентов ландшафта

Выявлено, что некоторые свойства мобильных компонентов по мере восстановления коренных сообществ начинают более согласованно варьировать в соответствии с экологическими градиентами. Так, увеличение проективного покрытия бореальных кустарничков, болотных видов трав и кустарников сопровождается увеличением проективного покрытия кукушкина льна; эта закономерность лучше проявляется на поздних стадиях сукцессии. Дифференциация элементов этой плеяды по градиенту влажности становится более согласованной в ходе восстановительной сукцессии. Осветление почвенного профиля в результате оподзоливания прямо коррелирует с обилием боровых видов в травянистом ярусе и обратно коррелирует с мощностью торфянистого горизонта: степень корреляции максимальна в зрелых лесах. Однако для некоторых свойств фитоценоза и почв согласованность реакции на

изменение условий среды, наоборот, уменьшается на поздних стадиях сукцессии. Например, соотношение процессов торфонакопления и подзолообразования на ранних стадиях восстановления хорошо согласуется с соотношением в моховом покрове сфагновых и долгих мхов, но по мере развития сукцессии эта согласованность уменьшается: в зрелых лесах моховой покров из кукушкина льна развит практически повсеместно и не всегда отражает мощность торфянистого горизонта почвы. Однако в целом при восстановлении коренных фитоценозов взаимосвязанность свойств растительности и почв обычно возрастает.

Согласованность реакции некоторых показателей растительного и почвенного покрова на изменение условий среды позволило выделить плеяды взаимосвязанных свойств компонентов на разных стадиях восстановительной сукцессии. На начальной стадии восстановления одну плеяду образуют свойства фитоценоза и почв, чувствительные к влажности: соотношение мезофильных и гидрофильных видов травяного, кустарникового и древесного ярусов, соотношение зеленых мхов, лишайников и сфагнума, соотношение почвенных горизонтов, формирующихся в условиях переувлажнения – торфянистых, глеевых и перегнойных - и хорошо дренированных почв, в основном агро-дерново-подзолистых и дерновых смытых, а также соотношение светлоцветных и темноцветных горизонтов почв. Другую плеяду образуют факторы дифференциации фитоценоза и почв, связанные с процессом заболачивания – обилие болотных видов трав и деревьев, соотношение подзолистого процесса и торфообразования, проективное покрытие сфагнума. Наконец, третью плеяду образуют свойства почвенно-растительного покрова, чувствительные к трофности местообитания: соотношение олиготрофов (боровых и болотных видов) и мезо- и мегатрофов в травяном и древесном ярусе, наличие перегнойного или гумусового горизонта в почвенном профиле.

По мере восстановления коренных среднетаежных сообществ состав плеяд частично меняется, при этом некоторые свойства продолжают реагировать согласованно. На поздней стадии сукцессии хорошо выражены две плеяды взаимосвязанных свойств. В первую входят некоторые оси дифференциации, чувствительные к влажности: соотношение мезофильных и гидрофильных видов трав, кустарников и кустарничков, соотношение зеленых и сфагновых мхов. Однако в этой группе также оказались факторы дифференциации в большей степени зависящие от изменения трофности – наличие перегнойного и гумусового горизонта и связанная с этим темная окраска почвенного профиля, соотношение неморальных и бореальных видов травостоя. Вторую плеяду в основном образуют свойства фитоценоза, чувствительные к трофности местообитаний – соотношение олиготрофных и мезотрофных видов трав, кустарничков и деревьев. Но кроме того присутствуют факторы дифференциации растительности, определяющие степень бореальности фитоценоза – обилие бореальных кустарничков и проективное покрытие кукушкина льна, а также почвенные факторы, связанные с соотношением процессов подзолообразования и торфонакопления и наличия светлоцветных или темноцветных почвенных горизонтов.

Для определения влияния почв на дифференциацию растительного покрова на разных стадиях сукцессии рассчитаны коэффициенты детерминации, отражающие степень обусловленности различных свойств растительности строением почвенного профиля и почвенными процессами, выражающимися через цветовую характеристику



почвы. В результате выявлено, что цвет почв (наиболее динамичные почвенные процессы) достоверно не влияет на дифференциацию растительного покрова на всех этапах восстановления коренных фитоценозов, а строение почвенного профиля определяет некоторые свойства растительности на различных стадиях сукцессии. Самая тесная связь со строением почвы характерна для фактора дифференциации травянистого яруса, чувствительного к трофности, только на начальной стадии сукцессии. Также большие коэффициенты детерминации на этой стадии характерны для факторов дифференциации древесного яруса, чувствительных к трофности. Таким образом, на начальном этапе восстановительной сукцессии ключевым фактором для дифференциации травяного и древесного ярусов растительности, по-видимому, является трофность почвы. На более поздних стадиях сукцессии со свойствами почвы связаны только факторы дифференциации кустарничкового и мохово-лишайникового яруса, чувствительные к влажности. Это позволяет сделать вывод, что по мере восстановления коренных фитоценозов происходит смена ведущего фактора дифференциации некоторых свойств растительного покрова, и важную роль начинают играть условия увлажнения.

В другой местности того же ландшафта, отличающейся глубоким расчленением рельефа и значительной распаханностью, проверена гипотеза об изменении меры взаимоадаптированности свойств компонентов в зависимости от времени, прошедшего после прекращения распашки. Сравнительное геохимическое исследование состава почв, фитомассы естественных и культурных растений для фоновых вторично-лесных ландшафтов, зарастающих залежей 10-15-летнего возраста и распахиваемых полей было проведено для детализации объяснения значимости фактора трофности. Оно показало следующие закономерности. Степень детерминированности химических свойств почв свойствами рельефа в целом ослабевает при распашке по сравнению с фоновыми условиями. На распаханых угодьях разница между формами рельефа в накоплении подвижного азота, калия, фосфора, обменного водорода сглаживается по сравнению с залежами и лесами. Однако на пашнях возрастает контраст в распределении обменного кальция и магния между формами рельефа за счет дополнительного вымывания из распаханых ложбин Обменный натрий – единственный показатель, контрастность распределения которого между формами рельефа возрастает при распашке по сравнению с фоновыми лесными почвами: происходит обогащение пойм и ложбин, обеднение – бровок склонов и склонов. Характер распределения зон рассеяния и аккумуляции элементов минерального питания в ландшафте меняется при замене зонального ландшафта сельскохозяйственными угодьями и обратном восстановлении естественной растительности на залежах. В агроместности, по сравнению с лесной местностью, наблюдается смещение ландшафтной приуроченности минимумов и максимумов накопления химических элементов. Минимум накопления водорода смещается от пойм в лесах к склонам и делювиальным шлейфам на пашнях, в то время как максимум накопления кальция на коренных склонах на пашнях становится более ярко выраженным. Наиболее устойчивыми связями с морфологическими формами рельефа при любом типе землепользования характеризуется обменный калий: содержание всегда возрастает от водоразделов к делювиальным шлейфам и убывает к террасам и далее к поймам и ложбинам. Увеличение продукции и накопления минеральных веществ в фитомассе травяного яруса прослеживается при переходе от залежей и

агроценозов к лугам, что усиливает их роль при формировании латеральных фитобарьеров.

Для степного ландшафта проведено сопоставление структуры межкомпонентных связей на заповедном (государственный заповедник «Оренбургский», участок «Айтуарская степь») и выпасаемом участках генетически единого ландшафта структурно-эрозионного складчатого грядово-балочного низкогорья, сложенного чередующимися пластами карбоновых и пермских песчаников, конгломератов, известняков и глинистых сланцев, с останцами эоценовых поверхностей выравнивания, с петрофитными разнотравно-ковыльно-типчачковыми степями на черноземах южных маломощных сильнокаменистых поверхностно-карбонатных. Сопоставлялся состав плед и прочность связей для всего массива данных и двух упомянутых участков по отдельности. Почва и растительность были описаны группой свойств: характеристиками травяного покрова (обилие 50 доминантных видов) и кустарникового яруса (обилие 10 доминантных видов), химическими свойствами почв (рН, содержание гумуса, гигроскопическая влага, обменные катионы, азот, фосфор, калий), свойствами горизонтов (мощность горизонтов АО, АУ, АУВ и В<sub>сп</sub>, доля горизонта АУ в общей мощности профиля, глубина вскипания почвы от НС1 и мощность почвенного профиля) и цветом почвы. Применены анализ канонических корреляций, непараметрических корреляций Спирмена и мультирегрессионные уравнения для значений осей дифференциации компонентов, рассчитанных методом многомерного шкалирования и отражающих положение описанных фаций по отношению к ряду экологических градиентов – увлажненности, карбонатности, каменистости, гумусированности, антропогенного воздействия, отклонения от зонального варианта типичных степей. Было рассмотрено три типа связей: связь одного свойства каждого компонента (например, дифференциация травянистого покрова по увлажнению) со всеми свойствами другого компонента; связь всей группы свойств одного компонента со всеми свойствами другого и зависимость каждого конкретного свойства от всех остальных свойств.

Для низкогорно-степного ландшафта (как заповедных, так и пастбищных участков) наиболее прочными из достоверных являются связи всех свойств варьирования травостоя со свойствами почвенных горизонтов и химическими свойствами почвы. Прочность этих связей возрастает, по сравнению с полным массивом данных, как для пастбищных участков, так и для заповедных. Все свойства травяного яруса наиболее прочно связаны со свойствами почвенных горизонтов, а на заповедных участках – еще и с цветом и химическими свойствами почв. Плеяда связей морфологических свойств почвенных горизонтов и травостоя универсальна, а плеяда связи между травостоем и химическими свойствами почв разрушается при выпасе. Связи видового состава кустарникового яруса с морфологическими свойствами почвенных горизонтов несколько возрастают при выпасе, но в целом кустарники менее чувствительны к свойствам почвенных горизонтов, чем травостой. Внутрифитоценоотические связи (свойств кустарников со свойствами травостоя) хорошо выражены на заповедных участках и ослабевают при выпасе. В целом достоверные связи между свойствами кустарников со свойствами других компонентов для заповедных территорий отражаются более высокими показателями связи (коэффициентами детерминации, каноническими корреляциями), чем для всего массива данных. Первая ось варьирования травостоя, интерпретируемая как фактор

увлажнения, наиболее чувствительна ко всем свойствам почвенных горизонтов. Вторая ось варьирования травостоя – степень петрофитности – наиболее чувствительна к химическим свойствам почв на пастбищах. Третья ось – степень «зональности» условий для травостоя - на заповедном участке оказывается чувствительна к свойствам кустарников и свойствам почвенных горизонтов. При этом на пастбищном участке не наблюдается достоверной связи со свойствами ни одного из других компонентов. Первая ось варьирования видового состава кустарникового яруса также была проинтерпретирована как реакция на степень увлажненности. Она достоверно связана со свойствами почвенных горизонтов, цветом почвы и травостоем. Значения связи данного фактора со свойствами почвенных горизонтов прослеживаются на всех уровнях, что позволяет говорить о ее универсальности, при этом они максимальны для пастбищных участков.

Оси варьирования основных почвенных характеристик имеют гораздо меньше достоверных связей с осями варьирования других компонентов, чем это было выявлено для кустарников и травостоя. Первая и третья оси варьирования химических свойств почвы, интерпретируемые как распределение кальция по катене и содержание гигроскопической влаги в почве соответственно, достоверно связаны со свойствами травостоя. Эта плеяда сохраняет устойчивость только для заповедных участков.

Для травостоя и кустарников наиболее чувствительны к свойствам почвенных компонентов первые и вторые по значимости оси дифференциации, что говорит о значительной степени абиотической детерминации фитоценозов. Для почвенных характеристик, напротив, не всегда первые оси дифференциации показывают достоверные связи с другими компонентами, что свидетельствует в пользу большей зависимости варьирования почвенных характеристик от индивидуальных особенностей. На заповедных участках наибольшим количеством достоверных связей с другими компонентами обладают кустарники, которые можно считать ядром плеяд и наилучшими индикаторами состояния других компонентов степного ландшафта. Для выпасаемых территорий количество достоверных связей больше у травяного яруса, что указывает на большую чувствительность кустарников к выпасу.

В итоге проведенного исследования установлены следующие универсальные закономерности, регионально-специфичные и локально-специфичные условия реализации межкомпонентных связей и иерархической организации ландшафтоформирующих процессов в ландшафтах разных географических зон и разных стадий антропогенной динамики.

- 1) Варьирование значений абсолютного большинства свойств ландшафтов описывается средствами мультирегрессионных уравнений второй степени на 60-80 % четырьмя осями, отражающими влияние взаимонезависимых типов ландшафтных структур. Недостаточное качество моделей межуровневых связей может объясняться наложением эффектов влияния вмещающих геосистем иного иерархического уровня.
- 2) Количество и набор значимых иерархических уровней вмещающих геосистем неодинаков для разных свойств ландшафта, то есть для вертикальной структуры ландшафта характерна полимасштабность.
- 3) Большое количество свойств, подчиняющихся правилу эмерджентного эффекта

группы компонентов ландшафта, свидетельствует о наличии относительно целостных лесных ландшафтов, в пределах которых пространственная вариабельность подчиняется некоторым «рамочным условиям», общим для всех компонентов, хорошо адаптированных друг к другу. Исключение представляет смешаннолесной ландшафт пластовых равнин Удмуртии.

4) Степные ландшафты в целом отличаются высокой сопряженностью компонентов, выше или не ниже, чем в лесных ландшафтах. Сопряженность травяного яруса с почвами сопоставима для степных, среднетаежных ландшафтов и смешаннолесных ландшафтов Куршской косы. Южнотаежные и смешаннолесные ландшафты, соответственно Костромской области и Удмуртии, выделяются пониженным уровнем межкомпонентных связей, что объясняется высокой антропогенной трансформированностью растительного покрова. Сопряженность кустарникового яруса с почвами и механическим составом в степях существенно в целом превышает таковую в лесах. В степях наиболее достоверно со всеми другими компонентами связан ярус кустарников, который можно считать наилучшим индикатором вертикальной структуры ландшафта, важнейшим узлом в системе межкомпонентных связей. В лесной зоне эту роль почти всегда выполняет травяной ярус.

5) В степных ландшафтах каждый компонент ландшафта варьирует в пространстве в первую очередь согласованно с другими компонентами, и лишь подчинённую роль в пространственной дифференциации играют собственные особенности варьирования компонентов. Для лесных ландшафтов эта закономерность проявляется не повсеместно: почти по всем группам свойств возможна относительная независимость ведущего фактора от других компонентов. Только для почв ведущие факторы практически всегда наиболее тесно связаны с другими компонентами. Следовательно, в степных заповедных ландшафтах саморазвитие компонентов больше ограничено, чем в лесных.

6) Наиболее универсальным главным фактором дифференциации свойств ландшафта служит перераспределение влаги в рельефе.

7) В лесных ландшафтах необязательная взаимозависимость главных факторов дифференциации разных компонентов объясняется большим разрывом в характерных временах процессов разных ярусов фитоценоза и почв, чем в степях. Образно выражаясь, инерционные компоненты более инерционны, а мобильные - более мобильны, чем в степях.

8) Межкомпонентные почвенно-фитоценотические и внутрифитоценотические связи более прочны, чем связи свойств фитоценоза и почв с рельефом вмещающих геосистем. В лесной зоне исключение составляют смешаннолесные ландшафты Удмуртии, в которых всегда вклад рамочных условий вмещающих геосистем в варьирование почв и фитоценозов всегда превышает вклад почвенно-фитоценотические и внутрифитоценотические связей.

9) Характерное пространство межкомпонентных отношений в системе «рельеф – растительный покров» различается для разных свойств растительного покрова. Межкомпонентные отношения в большинстве случаев носят полимасштабный характер.

10) Типы межкомпонентных связей и связей между смежными иерархическими уровнями меняются в пространстве географического ландшафта; как правило, местности отличаются по типам связей.

11) В ходе постантропогенного восстановления лесных ландшафтов может

происходить смена ведущего фактора дифференциации свойств фитоценозов.

12) В ходе постантропогенного восстановления лесных ландшафтов после рубок взаимосвязанность свойств фитоценозов и почв обычно возрастает, значимость механического состава почвообразующих отложений для фитоценоза снижается, прочность внутрифитоценотических связей, как правило, возрастает. В ходе постантропогенного восстановления степных ландшафтов после выпаса возрастает прочность внутрифитоценотических и почвенно-фитоценотических связей; для кустарникового яруса устойчивость связей со свойствами почв к пастбищным нагрузкам ниже, чем для травяного.

13) Гипотеза о стремлении растительных сообществ к минимизации зависимости от абиотической среды связей в ходе восстановительной сукцессии в общем случае не подтверждается.