

УДК 911.52

А.В. Хорошев¹, Г.М. Алещенко²**ИЕРАРХИЧЕСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ МЕЖКОМПОНЕНТНЫХ СВЯЗЕЙ В ЛАНДШАФТЕ**

Сделан обзор основных концепций исследования межкомпонентных отношений в ландшафте. Проанализированы проблемные вопросы выявления иерархической организации межкомпонентных отношений. Предложена последовательность операций, позволяющих на основе выявления резонансных уровней в отношениях между свойствами ландшафта и рельефом установить необходимое число иерархических уровней геосистем и их границы. Рассмотрена возможность идентификации геосистем с однородными свойствами и парадинамических геосистем.

Ключевые слова: геосистема, компонент, межкомпонентные отношения, иерархия, уровень, мультирегрессионный анализ, резонансный уровень, операционная территориальная единица.

Введение. Ландшафтоведение началось как наука с изучения связей между компонентами ландшафта. Слова В.В. Докучаева о “генетической, вековечной и всегда закономерной связи, какая существует между силами, телами и явлениями, между мертвой и живой природой”, изучение которой составляет “лучшую и высшую прелесть естествознания” [5] заложили основу ландшафтоведения в качестве своеобразной науки о системах внутри физической географии. Понятие “связь” применительно к компонентам ландшафта можно трактовать разными способами. В.Н. Солнцев [14] предложил различать связи-взаимодействия и связи-отношения. Связи-взаимодействия выявляются на основе непосредственного изучения потоков вещества и энергии. Примером экспериментальных исследований межкомпонентных связей-взаимодействий могут служить в ландшафтоведении работы по изучению влияния водохранилищ и промышленности на природные комплексы [6, 7], в лесоведении — осушительных мелиораций на приросты древесины [3], в геохимии ландшафта — самоочищения почв [13, 16], в биогеохимии и лесной гидрологии — контролируемых рубок в речном бассейне на свойства стока [2, 26].

Начиная с 1960-х гг., в исследовании связей-отношений отечественное ландшафтоведение накопило большой опыт, особенно в работах сотрудников Института географии СО РАН [4, 10]. Стабильный интерес к проблеме проявляли и зарубежные ландшафтные экологи [22, 24, 25, 27, 28, 31, 33]. Наличие связей-отношений не обязательно свидетельствует о причинно-следственных связях. Рассчитанную каким-либо статистическим способом достоверную корреляцию между парой ландшафтных характеристик можно интерпретировать неоднозначно. Самый простой для интерпретации и желательный для исследователя случай — это обусловленность корреляции реальным физическим однопольным воздействием одного свойства на другое или их взаимодействием, которое

объясняется наличием потока вещества или энергии. Например, если сомкнутость крон статистически достоверно связана с проективным покрытием травостоя, то есть основания полагать, что поступление солнечной энергии к поверхности почвы регулируется кронами деревьев. Если разредить кроны, то увеличится сомкнутость травостоя. В данном случае состояние одного компонента жестко контролируется состоянием другого.

Другой случай корреляции двух характеристик связан с наличием третьей характеристики, которая попарно связана с двумя анализируемыми, но последние не обязательно взаимодействуют физически между собой. Можно привести группу характеристик ландшафта, которые в зависимости от состояния одного и того же фактора дифференциации (например, уровня грунтовых вод) меняются в пространстве сходным образом (например, мощность органогенных горизонтов почв, обилие видов фитоценоза). Тогда становится возможно отобрать свойства, необходимые для объяснения ландшафтной дифференциации, на том иерархическом уровне, на котором данный фактор основной.

Имея статистически достоверную модель отношений между характеристиками компонентов ландшафта, можно высказывать гипотезы о наличии и сущности реального современного или существовавшего в прошлом процесса, через который изменение состояния одного компонента отражается на состоянии другого. Если речь идет о связи состояний во времени, то возможна постановка непосредственного эксперимента в природе с повторными наблюдениями [3]. В результате можно установить цепочки связей-взаимодействий, пространственно-временные масштабы, в которых осуществимы взаимодействия, выстроить иерархию компонентов ландшафта по динамичности, инертности и чувствительности к тем или иным воздействиям (как это сделано, например, в ландшафтно-

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра физической географии и ландшафтоведения, доцент, канд. геогр. н., e-mail: akhorosh@org.ru

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра физической географии и ландшафтоведения, вст. науч. с., канд. техн. н., e-mail: gleb@org.ru

динамических исследованиях И.И. Мамай [8], Н.Л. Бечуашвили [1]). Однако более типичны иные условия получения полевых данных.

Постановка проблемы. Накопленный несколькими поколениями ученых опыт фундаментальных и прикладных исследований межкомпонентных связей в ландшафте позволяет констатировать: сложнее всего интерпретировать статистически достоверные связи между свойствами компонентов, которые измерены одновременно в пространстве. Именно с такой ситуацией мы сталкиваемся при решении большинства прикладных задач, когда невозможно получить более или менее длительный временной ряд наблюдений. При этом требуется дать прогноз возможных цепных реакций в ландшафте при каком-либо внешнем воздействии. Хорошо известна проблема несоответствия между региональным масштабом принятия решений области природопользования и локальным и даже отчетным масштабом сбора данных о структуре и функционировании ландшафтов [35]. Поэтому успех прогноза во многом зависит от того, насколько достоверно определен иерархический уровень организации природы, на котором проявляется тот или иной ландшафтный процесс. В статье обобщен опыт ее авторов и других исследователей по выявлению методических проблем, возникающих при анализе межкомпонентных связей, и сделан обзор возможных подходов к их решению на примере использования региональных исследований авторов в Архангельской, Костромской областях и Удмуртии. В этих регионах более изучены и описаны межкомпонентные связи в редней тайге, южной тайге и в зоне смешанных лесов в условиях глубокорасчлененных равнин с двучленными почвообразующими четвертичными отложениями выходами коренных карбонатных дочетвертичных пород по речным долинам [17–21].

Опыт показывает, что исследование межкомпонентных связей в ландшафте с помощью статистических методов сталкивается со следующими наиболее серьезными ограничениями и требованиями:

- 1) высокие значения показателей связи, выявленные статистическими методами, строго говоря, означают не связь, а высокую вероятность существования связи, поэтому за этим должна следовать “процессная” интерпретация количественных показателей;
- 2) необходимо строго оговаривать, какой набор элементов (т.е. характеристик ландшафта) и по какому правилу отобран для анализа, что позволяет обозначить границы применимости полученных результатов;
- 3) оценка связи может оказаться ложной из-за неадекватного математического вида зависимости. Требуется сопоставлять качество альтернативных линейных и нелинейных моделей связей между одними и теми же переменными, что резко увеличивает трудоемкость анализа;

- 4) результаты оценок связей могут сильно варьировать в зависимости от числа наблюдений, охвата территории наблюдениями, размера выбранной опе-

рационной единицы. Эта проблема сформулирована в 1970-х гг как проблема меняющейся пространственной единицы (MAUP — Modifiable area unit problem) [30];

- 5) невозможность перебрать все возможные пары (сочетания) свойств компонентов требует предварительной классификации свойств по характерным временам и пространствам их проявления. Взаимодействие возможно только между свойствами с сопоставимыми масштабами пространства или времени, на так называемых когерентных уровнях [12, 23, 29, 34]. Наличие связи между свойствами позволяет выдвигать гипотезу о близких значениях характерного времени действия процессов, порождающих их дифференциацию (которая, разумеется, подтверждается не во всех случаях);

- 6) одни и те же свойства ландшафта могут быть связаны по разным законам на разных участках пространства. Встает вопрос о способах выявления территорий с единым типом межкомпонентных отношений;

- 7) поскольку ландшафт нельзя свести к совокупности парциальных систем, существует проблема определения пространства, в котором наблюдается согласованное варьирование всех (или большинства) компонентов. Этим может индифферентизироваться общий фактор пространственной дифференциации на некотором иерархическом уровне организации территории;

- 8) должен быть задан критерий однородности, при соблюдении которого можно выделить целостную геосистему некоторого иерархического уровня. На одном и том же уровне одни компоненты могут иметь одинаковые количественные характеристики, другие — единый тип распределения, третьи — изменяться случайным образом. Поэтому необходимо принять решение о критерии однородности для каждого иерархического уровня. При строгой ландшафтной классификации необходимо количественно доказать, что внутри каждого иерархического уровня состояниям ведущего фактора (например, каждому типу рельефа) соответствуют непересекающиеся (в идеальном случае) диапазоны свойств других компонентов. Только тогда классификация территории по некоторому ведущему компоненту будет иметь комплексное “ландшафтное” содержание;

- 9) соответственно, возникает проблема определения ведущего фактора дифференциации для каждого иерархического уровня организации территории. В классической концепции морфологии ландшафта уровни морфологических единиц достаточно строго заданы иерархией форм рельефа: урочище — мезоформа, подурочище — элемент мезоформы, фация — нано- и микроформы [11]. Является ли это всеобщим правилом и могут ли существовать другие иерархические уровни с другими ведущими компонентами, необходимо проверять применительно к конкретным географическим условиям;

- 10) технологическая проблема получения исходных данных состоит в доступности в основном точечных полевых описаний и невозможности получить копипи-

гуальную картину пространственного изменения почв, грунтовых вод, почвообразующих отложений. В лучшем случае исследователь имеет дело с интерполированными по точечным наблюдениям данными или с интерполяцией на основе моделей связи с рельефом или растительностью. Рельеф и растительность доступны для континуальной характеристики благодаря цифровым моделям рельефа и космическим и аэро- снимкам, однако пространственное разрешение этих данных (размер пиксела) будет оказывать решающее влияние на результаты оценки межкомпонентных связей. Поэтому проблема выбора и четкого обоснования мельчайшей операционной территориальной единицы (ОТЕ) становится ключевой для интерпретации результатов и привязки их к тому или иному иерархическому уровню. Снизить зависимость от такой вынужденной дискретности можно посредством использования характеристик не только самой операционной единицы, но и ее некоторой окрестности;

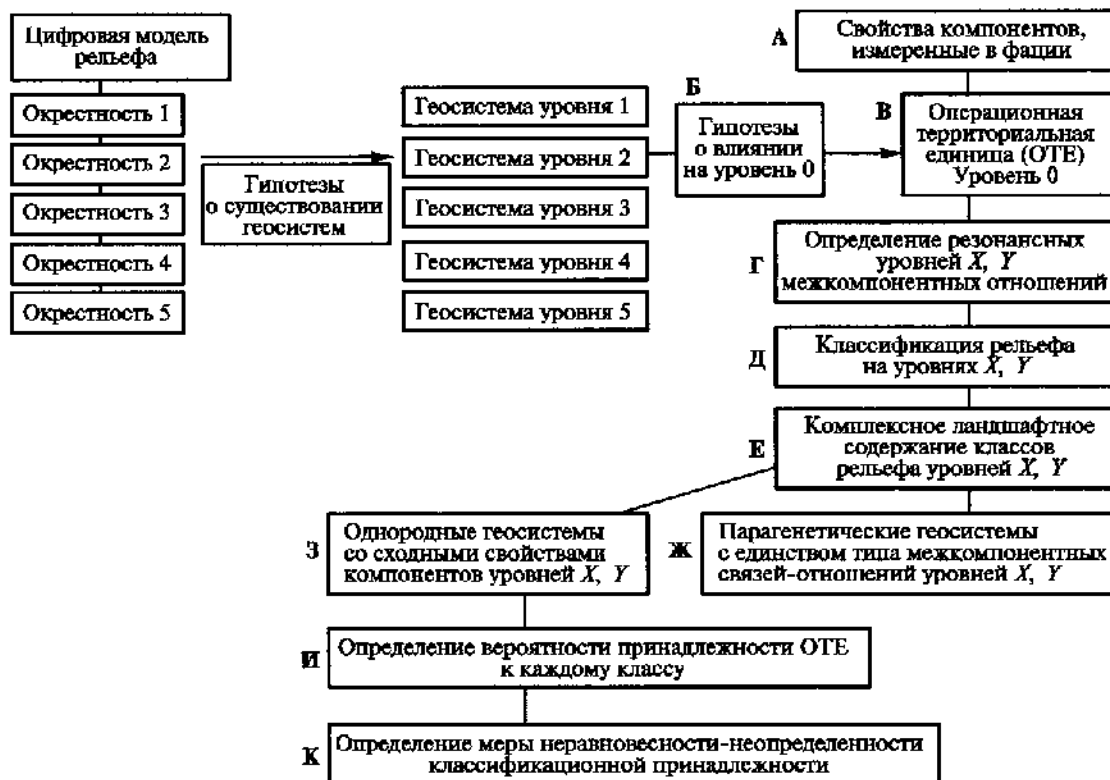
11) поскольку каждая геосистема вложена в более крупную и состоит из более мелких геосистем, возникает необходимость распознать, какие ее свойства меняются при пересечении границы и переходе в соседнюю геосистему того же ранга, т.е. варьируют в некотором диапазоне на данном иерархическом уровне, а какие безразличны к внутриранговым различиям и заданы состоянием вышестоящей геосистемы. Иными словами, необходимо определить константы, действующие на каждом иерархическом уровне и заданные вышестоящим уровнем. Это могут быть константы свойств компонентов (ограниченный диапазон

изменения) и константы типов отношений (ограниченный диапазон изменения величины и знака связи).

Методы исследования. Обозначим несколько возможных подходов к исследованию проблемы иерархической организации межкомпонентных связей-отношений в ландшафте, каждый из которых может иметь как самостоятельное значение, так и быть этапом последовательности анализа данных (рисунок).

Построение континуальной иерархической модели межкомпонентных отношений. Предполагается, что большинство свойств ландшафта меняется в соответствии с некоторыми градиентами среды. Каждая ОТЕ характеризуется собственными свойствами, измеренными в полевых условиях (рисунок, А), и свойствами вмещающей геосистемы (возможно, нескольких иерархических уровней). Основная задача — построить серию статистических моделей (рисунок, Б), которые связывают свойства описанной в полевых условиях ОТЕ с характеристиками вмещающих геосистем (например, с морфометрическими характеристиками рельефа, пространственными характеристиками растительного покрова, структурой земельных угодий в окрестностях разного размера и т.п.), а затем сравнить качество и достоверность этих моделей. В дальнейшем будем использовать рельеф в качестве характеристики окрестности ОТЕ, т.е. гипотетической вмещающей геосистемы.

В качестве методического приема применяется построение серии мультирегрессионных уравнений 2-й степени, в которых зависимая переменная — свойство почвенного или растительного покрова, не-



Последовательность анализа иерархической организации межкомпонентных связей. Пояснения см. в тексте

зависимые переменные — морфометрические характеристики рельефа (вертикальная и горизонтальная расчлененность, вертикальная и горизонтальная кризизна). Та окрестность ОТЕ, при которой коэффициент детерминации уравнения (доля описанной уравнением вариации зависимой переменной) максимален, интерпретируется как “резонансный уровень” межкомпонентных связей (рисунок, Б, Г). Это означает, что свойство ландшафта контролируется формами рельефа соответствующего размера. Следовательно, именно на таком уровне может быть характерное пространство процесса, породившего дифференциацию того или иного свойства растительности, почв или других компонентов. Размер окрестности, при котором достигается подобный “резонанс”, трактуется как размер частичной геосистемы более высокого ранга, чем ОТЕ. На выходе анализа будет получена классификация свойств компонентов ландшафта по чувствительности к свойствам окрестностей разного размера, а следовательно, и к процессам, ответственным за обособление вменяющих геосистем. Это дает основания для сопоставления характеристик ландшафта с иерархическими уровнями его организации.

Можно выбирать разный размер ОТЕ в зависимости от типа процессов, гипотетически ответственных за ландшафтную дифференциацию. Анализ эффекта пространственного разрешения и территориального охвата — важная составляющая часть исследования структуры и иерархии межкомпонентных связей (рисунок, В).

Традиционные точки комплексного ландшафтного описания, как правило, соответствуют геосистеме типа фации; некоторые характеристики, определенные при полевом исследовании, могут относиться к подурочищу или урочищу. Данные, характеризующие более крупные геосистемы, в основном — результат обработки результатов маршрутных исследований, картографических или дистанционных материалов. Способ членения такой информации определяет выбор мельчайшей операционной единицы, которую можно сопоставить с тем или иным рангом геосистемы. Типы отношений между компонентами, описанные при разном разрешении, могут быть предметом сравнения. Например, обилие какого-либо вида растений, измеренное при полевом описании фации, может гипотетически зависеть от уклона. Уклон можно измерить непосредственно эклиметром на местности (например, уклон фации выпуклого участка 10×10 м на склоне оврага), по цифровой модели высокого разрешения (например, средний уклон подурочища склона оврага, разрешение 30 м) либо по цифровой модели рельефа низкого разрешения (например, средний уклон урочища оврага в целом или его отрезка, разрешение 100 м). Тем самым высказываются три разные гипотезы о факторах, влияющих на обилие вида в конкретном месте. В первом случае проверяется гипотеза о скорости миграции вещества; во втором — косвенно об интенсивности процесса врезания, ответственного

за крутизну склонов; в третьем — косвенно о геологическом строении, так как общий уклон оврага зависит от проходимого водотоком пути, что определяется разницей высот между кровлями водоупорного пласта, по которому идет разгрузка грунтовых вод, и базисом эрозии.

В то же время можно высказать гипотезу о зависимости обилия вида в “точке” от ландшафтной обстановки в окрестности того или иного размера, которую можно охарактеризовать, например, вертикальной расчлененностью рельефа (рисунок, Г, Д, Е). Мету расчлененности, рассчитанную по цифровой модели высокого разрешения (когда размер ОТЕ, например, составляет 30 м и сопоставим со средним размером фации), можно отождествить с условиями для определенного уровня грунтовых вод: при глубокой расчлененности уровень более низкий, при слабой — более высокий. Если же мету расчлененности рассчитать по цифровой модели низкого разрешения (когда размер ОТЕ, например, составляет 400 м и сопоставим со средним размером более крупной геосистемы — урочища), то ее, скорее, следует интерпретировать как показатель принадлежности к некоторому генетическому типу рельефа. Тогда можно говорить о специфических геологических условиях или специфической истории развития территории, которые так или иначе отражаются на свойствах всех фаций, принадлежащих этой территории.

Особый вид информации дает сравнительный анализ вида связей между аналогичными характеристиками, рассчитанными при разном разрешении. В случае регрессионных уравнений это сравнение знаков и величины регрессионных коэффициентов и величины коэффициентов детерминации. Можно получать информацию о подобию или смене типа отношений при переходе с одного иерархического уровня на другой или о целесообразности выделять тот или иной иерархический уровень для объяснения пространственного изменения какого-либо свойства ландшафта.

Легко представить ситуацию, когда какое-то свойство, например содержание гумуса, остается неизменным при смене элемента мезорельефа (при переходе с гребня на склон), так как для него, по сути, безразличен этот микромасштабный фактор. В то же время принципиальное значение для гумусированности может иметь принадлежность к местности глубокорасчлененного коренного склона долины. Только при переходе в местность слаборасчлененного склона, сложенного моренными суглинками, содержание гумуса претерпит принципиальное изменение. Пиксели цифровой модели рельефа малого размера смогут отразить различие локальных гребней и склонов и их соотношение, но эта информация будет бесполезна для объяснения изменения содержания гумуса (или его отсутствия). Зато крупные пиксели, игнорируя информацию о различиях элементов мезорельефа, отразят контрасты участков склона долины в целом,

связанные с наличием врезания в коренные породы либо с преобладанием слаборасчлененных моренных склонов. Сравнение моделей связи между группами свойств ландшафта и рельефом, построенных при разном разрешении, покажет, какой иерархический уровень пространственной дифференциации существен для изучаемой группы свойств или на разных участках территории.

Другая важная характеристика масштаба — пространственный охват. Он характеризует пространство, в котором согласно гипотезе проявляется тот или иной тип отношений между компонентами ландшафта. Важен, собственно говоря, не размер пространства, на котором проверяется гипотеза, а уровень его ландшафтного разнообразия. Многочисленные методы выявления разнообразия территории и иерархических уровней ее организации, разработанные в ландшафтной экологии, основаны на поиске параметров модели, при которых происходит резкий скачок варибельности изучаемого свойства [36]. Однако эту задачу необходимо расширить до выявления скачков показателей связи между несколькими свойствами. Представляет большой интерес проблема сохранения типа отношений между компонентами ландшафта при разных уровнях ландшафтного разнообразия. Уровень разнообразия можно задать, включая в анализ данные, охватывающие ландшафтные или физико-географические единицы разных уровней. Для сравнимости моделей количество использованных данных и размеры ОТЕ должны быть сопоставимы. Тем самым можно установить степень универсальности закономерности (глобальный или локальный характер, по [32]) и иерархический уровень ландшафтной организации, для которого действительна закономерность.

Весьма обычна ситуация, когда связь хорошо проявляется в пределах ландшафта одного рода (например, дренированные моренные холмистые равнины), но “растворяется” при объединении в выборку ландшафтов разного рода (например, моренных, водно-ледниковых, структурно-эрозионных равнин). Это можно объяснить несколькими причинами. Во-первых, связь может существовать только в определенных ландшафтных условиях. Во-вторых, в разных видах ландшафтов связь может иметь разные вид и знак, что при объединении данных в одну выборку приводит к взаимокомпенсации отклонений переменных от средних значений. В-третьих, в таком случае может быть целесообразно предложить математическую модель иного вида. Например, линейная связь может оказаться незначимой, в то время как параболическая зависимость значима (одинаковые значения функции при малых и больших значениях аргумента, но резко отличное значение функции при среднем значении аргумента). Кажущееся “растворение” связи при увеличении территориального охвата может быть основанием для выдвижения гипотезы о существовании связи иного типа.

Итак, когда установлены иерархические уровни проявления межкомпонентных связей и соответствующих им факторов ландшафтной дифференциации, дальнейший анализ может идти в двух направлениях. С одной стороны, можно выделять мозаичные геосистемы с единым системообразующим фактором, т.е. выстраивающиеся в один факторальный ряд, или парагенетическую систему (рисунок, Ж). С другой стороны, появляются основания для выделения серии относительно однородных геосистем на каждом иерархическом уровне (рисунок, З).

Выявление парагенетических систем с единством межкомпонентных связей-отношений. В ландшафте могут существовать скрытые от наблюдателя системообразующие связи, порождающие пространственную варибельность ландшафта. Выявить их можно путем картографирования (пространственной развертки) типов межкомпонентных отношений в ландшафте. Тогда объектом картографирования становятся группы ОТЕ, связанных общностью фактора дифференциации, но различных по его количественному проявлению. Сила действия фактора может нарастать в каком-либо направлении, что приводит к постепенной смене свойств компонентов ландшафта. Например, в Архангельской области понижение уровня грунтовых вод с удалением от верхового болота приводит к смене сырых ельников влажными и свежими. Такая территория мозаична по вертикальной (компонентной) структуре, но одина по генезису горизонтальной (пространственной) структуры. В пределах парагенетической системы реакция компонента ландшафта на количественное изменение организующего фактора должна выражаться одной и той же функцией, например регрессионным уравнением. Если на территории выделена такая система и найдена функция, отражающая связь фактора с исследуемым компонентом ландшафта, то по виду функции можно высказать гипотезу о физическом процессе, ответственном за пространственную дифференциацию.

Локализацию типов межкомпонентных отношений можно осуществлять как с растровыми, так и с точечными данными. Растровые данные позволяют рассчитывать связи между переменными в скользящем квадрате. Для Архангельской области показаны, например, ареалы проявления нескольких типов отношений между характеристиками влажности местообитаний, косвенно определенными по космическим снимкам, и морфометрическими характеристиками рельефа [21]. Анализ выполнен для нескольких иерархических уровней и при двух вариантах размеров ОТЕ, примерно соответствующих рангам урочищ и фаций. Результат расчета функции связи присваивается центральному пикселю области расчета. Классификация ОТЕ по параметрам модели связей (например, по значениям коэффициента регрессионного уравнения и величине коэффициента детерминации) позволяет выявить ареалы с единством типа межкомпонентных отношений.

Можно также идентифицировать территории, где отношения, проверяемые моделью, не существуют; это можно сделать через картографирование остатков от модели, т.е. разностей между наблюдаемым и предсказанным моделью значениями [9]. Аналогично для точечных данных можно построить модель связей и нанести на карту участки, которые строго подчиняются этой модели, т.е. имеют малые остатки при высокой достоверности модели. Набор таких точек (фаций или других ОТЕ) будет контрастен по значениям анализируемого свойства (например, механического состава почв), но эти значения будут варьировать согласованно со значениями единого фактора (например, уклона рельефа).

Выявление однородных геосистем со сходными свойствами компонентов. Выдвинута гипотеза о существовании дискретных состояний ведущего компонента (например, морфолитогенной основы), каждому из них в идеале соответствует специфический, именно для него неповторимый диапазон значений свойств других компонентов. Частный случай — широко применяемая модель морфологической структуры ландшафта, задающая строго детерминированную зависимость растительности и почв от рельефа или состава горных пород. В нашем варианте иерархические уровни рельефа в качестве ведущего фактора не задаются *a priori*, а устанавливаются на основании выявления “резонансного уровня” анализа межкомпонентных связей-отношений. Критерием служит совпадение размеров окрестности, при которой максимальны показатели связи большинства свойств компонентов характеристиками рельефа.

Результаты и их обсуждение. Построение континуальной иерархической модели межкомпонентных отношений в южной тайге Костромской области выполнено для ОТЕ с размерами 400 м, примерно соответствующими рангу урочища [19]. Оно показало, что соотношение видов деревьев, свойственных еловой и широколиственной зонам, контролируется наследием процессов седиментации в ледниковую эпоху, сформировавших контрастные структуры рельефа со средними размерами 4,4 км. По соотношению моренных и субморенных черт растительного покрова различаются участки: а) плоских моренно-одно-ледниковых равнин с относительно бедными подзолистыми почвами на двучленных песчано-суглинистых отложениях; б) пологохолмистых моренно-эрозионных равнин с более богатыми дерново-подзолистыми почвами на покровных суглинках; в) гривистых песчаных террас Унжи с очень бедными подзолами. В то же время соотношение гумусонакопления и оподзоливания в почвах определяется результатами эрозионных процессов, сформировавших сеть локальных междуречий и долин со средним размерами 1,2 км. Гумусонакопление более свойственно склонам малых олин, а оподзоливание — слабовыпуклым междуречьям. Зная, к какому уровню организации рельефа

чувствительна некоторая группа свойств компонентов, можно переходить к классификации рельефа (рисунок, Д) на этом уровне и использовать полученные классы как основание для классификации ПТК.

Таким образом, классификация рельефа становится не только геоморфологической, но приобретает и комплексное ландшафтное содержание (рисунок, Е). В приведенном примере на более высоком уровне доказана необходимость различать геосистемы бореального и суббореального характера, приуроченные к разным генетическим типам рельефа, а на более низком — геосистемы с гумусированными либо оподзоленными почвами в зависимости от положения на мезоформе рельефа.

Полученные для нескольких регионов результаты анализа межкомпонентных связей показали весьма существенную зависимость количественных характеристик связей от разрешения цифровой модели рельефа и степени ландшафтного разнообразия территории. Эти две характеристики рассматриваются в качестве ключевых для полимасштабного выявления целостных ландшафтных структур. Один и тот же показатель рельефа, измеренный разными способами, дает разную информацию о компонентах ландшафта в зависимости от масштаба.

При исследованиях на юго-западе Удмуртии оказалось, что уклоны, измеренные по цифровой модели рельефа с разрешением 400 м (т.е. средний уклон урочища) лучше коррелируют с большинством свойств ярусов фитоценоза и почв (достоверные значения коэффициента корреляции Спирмена 0,16—0,32 для 8 переменных из 18), чем уклон фации, измеренный на местности (2 достоверных значения коэффициента корреляции 0,24—0,25 из 18).

Исследования в среднетаежном структурно-моренно-эрозионном ландшафте в Архангельской области показали, что оптимальный размер ОТЕ для выявления целостных ландшафтных структур на локальном выпуклом междуречье составляет 30 м, а в балке — 10 м [20]. Сравнение мультирегрессионных моделей межкомпонентных отношений для Кологривского района Костромской области (одна физико-географическая провинция) и области в целом (три провинции) показало, что для разных пар компонентов характерны разные иерархические уровни реализации отношений. Обилие видов в древесном, кустарниковом и кустарничковом ярусах чувствительно к механическому составу отложений на внутривинциальном (районном) уровне, в то время как в травяном ярусе — на межпровинциальном (областном). Однако связь травяного яруса с почвами реализуется на внутривинциальном уровне.

Сопоставление резонансных уровней проявления связей между почвами, растительностью и рельефом свидетельствует, что для ландшафта пластовых равнин в Удмуртии целостные геосистемы имеют линейный размер около 6 км, а для ландшафта моренно-эрозионных равнин в Костромской области — 4,4 км

21]. Соответствие может быть неполным и не по всем компонентам; в этом случае выделяются не полные, а парциальные геосистемы. Тогда можно рассчитывать вероятности соответствия свойств ведомых компонентов типичным значениям для классов ведущего компонента (рисунок, И). Такое исследование выделением геостационарных и геоциркуляционных структур (в терминологии В.Н. Солнцева [15]) проведено нами в среднетаежном ландшафте в Архангельской области [18]. Методом дискриминантного анализа на основе постериорных вероятностей можно выявить меру неопределенности классификационной принадлежности. При близких значениях вероятности классификационной принадлежности сразу к нескольким классам рельефа можно сделать вывод о несогласованности свойств компонентов, что можно трактовать как признак неравновесности (рисунок, К) [17].

Заключение. Предложенная последовательность методов направлена на выявление отношений между измеренными в полевых условиях свойствами локальных природно-территориальных комплексов и разномасштабными процессами в ландшафте, которые отражаются в этих свойствах. Характерное пространство, к которому чувствительно то или иное свойство, может указывать на процесс, породивший дифференциацию. Выбор размера операционной территориальной единицы и пространственного охвата (уровня ландшафтного разнообразия) позволяет перебирать и проверять гипотезы о значимости разномасштабных ландшафтных процессов. В результате можно устано-

вить, на каких иерархических уровнях геоморфологические классификации приобретают комплексное ландшафтное содержание. Описанные подходы позволяют на основе анализа иерархической организации межкомпонентных связей снизить субъективность выделения как однородных, так и парагенетических геосистем. Иерархические уровни и границы геосистем определяются по связи совокупности ландшафтных признаков строго количественно.

Знание функции, отражающей связь между фактором и свойством компонента ландшафта на конкретном участке, позволяет решать ряд задач. Появляется возможность применять эргодический подход при прогнозировании изменения 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.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Берущавили Н.Л. Четыре измерения ландшафта. М.: Мысль, 1986. 182 с.
2. Битюков Н.А. Экология горных лесов Причерноморья. Сочи: НИИгорлесэкол, 2007. 397 с.
3. Домперский С.Э. Биологические основы эффективности. М.: Наука, 1968. 312 с.
4. Географические исследования Сибири. Т. 1. Структура и динамика геосистем / Отв. ред. Ю.М. Семенов, А.В. Белов. Новосибирск: Гео, 2007. 413 с.
5. Докучаев В.В. К учению о зонах природы // Дороже золота русский чернозем. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1994. С. 202—214.
6. Дончева А.В. Ландшафт в зоне воздействия промышленности. М.: Лесная промышленность, 1978. 130 с.
7. Дьяконов К.Н. Влияние крупных водохранилищ на леса прибрежной зоны. Л.: Гидрометеоздат, 1975. 127 с.
8. Мамай И.И. Динамика ландшафтов. Мегидика изучения. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1992. 167 с.
9. Меркалова К.А. Выделение геосистем с единым типом межкомпонентных отношений // Ландшафтное планирование: общие основания, методология, технология. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2006. С. 199—203.
10. Нечаева Е.Г., Полюшкин Ю.В., Никитина З.И. Природные взаимосвязи южнотаежных геосистем // Южная тайга Прииртышья. Новосибирск: Наука, 1975. С. 225—239.
11. Николаев В.А. Ландшафтоведение. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2006. 208 с.
12. Пузаченко Ю.Г. Пространственно-временная иерархия геосистем с позиции теории колебаний // Вопросы географии. 1986. Вып. 127. С. 96—111.
13. Снакин В.В., Присяжная А.А., Рухович О.В. Состав жидкой фазы почв. М.: РЭФИА, 1997. 325 с.
14. Солнцев В.Н. О трудностях внедрения системного подхода в географию // Вопросы географии. 1977. Вып. 104. С. 20—36.
15. Солнцев В.Н. Структурное ландшафтоведение: основы концепции // Структура, функционирование, эволюция природных и антропогенных ландшафтов / Тез. X ландшафтной конференции. М.: СПб., 1997. С. 11—14.
16. Солнцева Н.И. Добыча нефти и геохимия природных ландшафтов. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1998. 376 с.
17. Хорошев А.В. Факторы саморазвития пространственной структуры таежного ландшафта // География и природные ресурсы. 2004. № 4. С. 5—12.
18. Хорошев А.В. Геостационарные и геоциркуляционные структуры в среднетаежном ландшафте // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2005. № 3. С. 23—28.
19. Хорошев А.В. Иерархическая организации межкомпонентных связей в лесных ландшафтах Восточно-Европейской равнины // Изв. РГО. 2010. Т. 142. Вып. 5. С. 9—16.
20. Хорошев А.В., Артемова О.А., Матасов В.М., Коцеева А.С. Иерархические уровни взаимосвязей между рельефом, почвами и растительностью в среднетаежном ландшафте // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2008. № 1. С. 66—72.