

## МЕТОДИКА НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 911.52 (470.11)

А. В. ХОРОШЕВ, Г. М. АЛЕЩЕНКО

### МЕТОДЫ ВЫДЕЛЕНИЯ ГЕОСИСТЕМ С ЕДИНСТВОМ МЕЖКОМПОНЕНТНЫХ ОТНОШЕНИЙ

*Оценивается эффективность нескольких методов выделения разномасштабных функционально целостных мозаичных геосистем, связанных единым типом межкомпонентных отношений, на примере системы рельеф–растительность. По виду функции выявляется физический процесс, отвечающий за пространственную дифференциацию. Сравниваются информативность и ограничения применения мультирегрессионных уравнений, информационных мер связи, непараметрических коэффициентов корреляции и определителя Якоби.*

Ключевые слова: геосистема, масштаб, межкомпонентные отношения, процесс, мультирегрессионное уравнение, информационная мера связи, определитель Якоби.

*We estimate the effectiveness of several methods of identifying different-scale functionally integral mosaic geosystems interconnected by a common type of intercomponent relationships by considering an example of relief–vegetation system. The form of the function is used to reveal the physical process that is responsible for the spatial differentiation. A comparison is made of the informational content and the limitations of using multi-regression equations, information measures of connection, nonparametric correlation coefficients, and the Jacobi determinant.*

Keywords: geosystem, scale, intercomponent relationships, process, multi-regression equation, information measure of connection, Jacobi determinant.

#### ВВЕДЕНИЕ

Планирование природопользования, как правило, сталкивается с необходимостью корректного определения его пространственного и временного масштабов, в рамках которых могут проявляться те или иные типы отношений между природными телами. Остро ощущается целый ряд проблем, связанных с пониманием соотношения между масштабами природных процессов.

Во-первых, это проблема несоответствия регионального масштаба принятия решений в области природопользования локальному (точечному) масштабу сбора данных о структуре и функционировании ландшафтов [1]. Во-вторых, иерархическая организация природы требует учета процессов, реализующихся не только на исследуемом уровне, но и, как минимум, на двух смежных, из которых высший уровень определяют константы процесса, а нижний порождают его механизмы [2–4]. В-третьих, на одной территории и в одно время реализуются процессы с разными характерными временами, для каждого из которых существует своя специфическая иерархия [5]. В-четвертых, в природе может проявляться как самоподобие процессов на разных иерархических уровнях, так и смена ведущего фактора при переходе на другой уровень. В-пятых, существует проблема разделения вкладов факторов, действующих на разных иерархических уровнях, в варьирование анализируемой переменной.

В силу разных характерных времен изменение свойств вертикальной структуры не всегда происходит согласованно при изменении основного фактора пространственной организации. Поэтому, определив этот основной фактор, целесообразно оценить его связи с разными свойствами компонентов ландшафта. В пределах геосистемы с единым типом межкомпонентных отношений реакция компонента ландшафта на количественное изменение ведущего фактора должна выражаться функ-

циями из одного класса с близкими параметрами. Если на территории выделена такая система, то становится возможным по виду функции представить физический процесс, отвечающий за пространственную дифференциацию.

В данной работе ставится задача сравнить эффективность нескольких методов выделения разно-масштабных функционально целостных геосистем, связанных единым типом межкомпонентных отношений, на примере системы рельеф—растительность.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

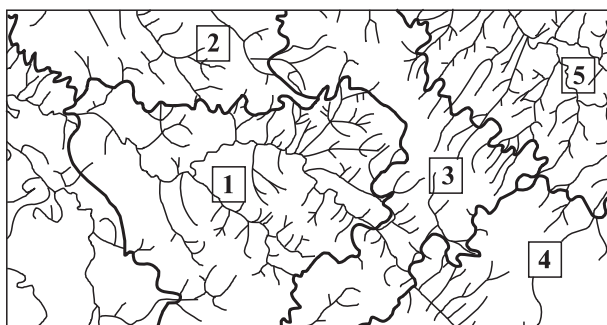
Авторами использованы данные полевых исследований, проведенных на юге Архангельской области в подзоне средней тайги, цифровая модель рельефа м-ба 1:50 000 и космический снимок Landsat 7 (июнь 2001 г.). В результате преобразования значений спектральных яркостей каналов космического снимка методом главных компонент выделено несколько независимых факторов дифференциации растительного покрова [6], один из которых интерпретирован по полевым данным как проявление реакции растительного покрова на варьирование влажности местообитания.

Выбор этого фактора для анализа (ниже — фактор влажности) обусловлен его независимостью от антропогенеза, в то время как другие факторы отражают антропогенные изменения: соотношение лесных и полевых участков, хвойных и мелколиственных пород. Наиболее высокие факторные значения соответствуют урочищам верховых пушицево-сфагновых болот с сосновым мелколесьем и елово-сосновым сфагновым лесам на торфяно-подзолистых почвах, самые низкие — наиболее хорошо дренированным урочищам — соснякам брусничным зеленомошным, местами лишайниковым, на подзолах и мезофитным ежово-тимофеевково-овсяннищевым лугам на дерново-карбонатных почвах крутых коренных склонов долин.

По цифровой модели рельефа, выполненной с помощью ГИС (ArcView3.2a) и оригинальной программы анализа растровых изображений FRACDIM [6], рассчитаны показатели дренированности рельефа: вертикальная расчлененность (стандартное отклонение высот в квадрате со стороной 2000 м), горизонтальная расчлененность (сумма длин водотоков в таком же квадрате), уклон, степень кривизны, расстояние до ближайшего тальвега. Космический снимок и цифровая модель рельефа приведены к единому разрешению с размером пикселя 400 м, что сопоставимо со средним размером урочищ, выделенных на ландшафтной карте полигона. На исследованном участке (рис. 1) различаются пять местностей [7].

Рис. 1. Ландшафтная структура и гидрографическая сеть полигона исследования (уровень местностей).

Местности: 1 — Ростовская — сильнорасчлененная структурно-эрозионная хорошо дренированная равнина, сложенная пермскими мергелями, перекрытыми маломощным чехлом озерно-ледниковых валдайских и моренных московских отложений, с сельскохозяйственными землями и вторичными елово-березово-сосновыми лесами на агродерново-подзолистых почвах по междуречьям и сочетанием агрообразов и рендзинов по склонам; 2 — Мостницкая — слаборасчлененная волнистая озерно-ледниковая слабодренированная равнина, сложенная маломощными валдайскими песками и суглинками, подстилаемыми пермскими мергелями, с вторичными елово-березово-сосновыми лесами на подзолистых почвах, оксило-мезофитными лугами на агродерново-подзолистых почвах и верховыми болотами на торфяниках и торфяно-глееземах; 3 — Гридинская — слаборасчлененная ступенчатая эрозионно-моренная слабодренированная равнина, сложенная относительно мощными московскими моренными суглинками с чехлом озерно-ледниковых отложений, подстилаемыми пермскими мергелями, с елово-осиново-березовыми и елово-березово-сосновыми лесами на торфяно-подзолисто-глееватых почвах в сочетании с верховыми и переходными болотами на торфяниках и торфяно-глееземах; 4 — Болванская — слаборасчлененная моренная пологонаклонная слабодренированная равнина, сложенная относительно мощными московскими моренными суглинками с чехлом озерно-ледниковых отложений, с еловыми и елово-осиново-березовыми лесами на подзолистых иллювиально-железистых и торфяно-подзолисто-глееватых почвах в сочетании с верховыми и переходными болотами на мощных торфяниках; 5 — Соденьская — сильнорасчлененная структурно-моренно-эрозионная хорошо дренированная равнина, сложенная пермскими мергелями, перекрытыми маломощным чехлом московских озерно-ледниковых и моренных отложений, с вторичными елово-березово-сосновыми лесами и сельскохозяйственными землями на агродерново-подзолистых почвах, агрообразовах и рендзинах.



Общий подход, предлагаемый в данной работе, заключается в расчете параметров связей между компонентами ландшафта (отраженных слоями ГИС) в скользящем квадрате, когда массив данных образуют все пиксели, окружающие центральный в заданном поле, а результат расчета присваивается центральному пикселю. Так мы получаем представление о варьировании типа и силы связей в пространстве и выделяем функционально целостные геосистемы с одинаковыми вкладами независимых переменных (в нашем случае — характеристик рельефа) в состоянии зависимой (свойства растительности, чувствительные к гигротопу). Сравнивая результаты расчетов при меняющихся размерах скользящего квадрата, можно выявить характерный масштаб проявления межкомпонентных отношений. Здесь и далее под изменением масштаба подразумевается изменение размера скользящего квадрата. Другой аспект проблемы масштаба — зависимость результатов от разрешения (размера пикселя) — предмет отдельного исследования.

В качестве одного из методов оценки функциональной целостности геосистем предложен расчет значений функционального определителя специального вида (определитель Якоби, или якобиан), составленного из частных производных анализируемых функций по пространственным переменным [8]. При наличии функциональной связи якобиан обращается в нуль в окрестности выбранной точки. В качестве оценки элементов функционального определителя на некотором участке предлагается считать значения коэффициентов в уравнениях плоскостей, касательных к анализируемым зависимостям, построенных по точкам элементарного квадрата со стороной  $2n + 1$  пикселей методом наименьших квадратов. Значение якобиана присваивается центральному пикселю элементарного квадрата, что объясняет нечетность его стороны. Передвигая центр квадрата из одной точки пространства в другую, можно получить оценки якобиана для всех пикселей области, за исключением граничных. Результатом станет карта с указанием ареалов, в которых может существовать функциональная зависимость между параметрами.

Вопрос о размерности квадрата приобретает особое значение. Оценка частных производных тем точнее, чем меньше квадрат. При этом построенная плоскость будет ближе к касательной. Увеличение размера квадрата приводит к сглаживанию случайной составляющей, а также способствует переходу на другой иерархический уровень организации территории. Итак, использование якобиана позволяет в первом приближении установить факт наличия функциональной связи между компонентами ландшафта, но не дает информации о виде и силе этой связи.

В случае, когда требуется определить силу связи и при этом можно пренебречь информацией о ее знаке, допустимо использовать второй способ, основанный на вычислении индексов разнообразия Шеннона. Информационная мера связи не чувствительна к отклонениям данных от нормального распределения и к нелинейности связей, что выгодно отличает ее от параметрических методов статистического анализа. В то же время она не позволяет определить знак связи. По аналогии с мерой информации, передаваемой набором каналов, мера взаимосвязи может быть оценена как

$$I(X_1, X_2) = \sum_{j=1}^{j=N} H_j(X_1, X_2) - H_0(X_1, X_2),$$

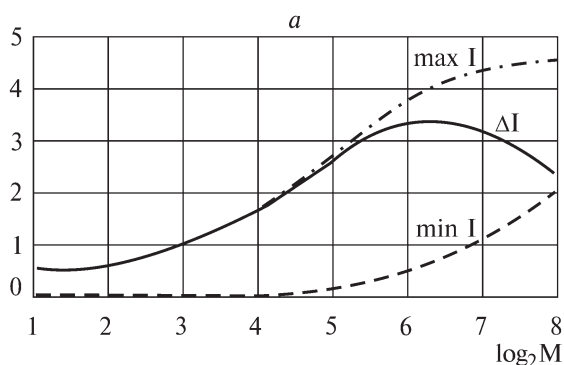
где  $N$  — число анализируемых переменных (слоев, характеристик ландшафта);  $X_1, X_2$  — координаты центра скользящего квадрата;  $H_j$  — индекс разнообразия для отдельного слоя ( $j = 1, 2, \dots, N$ );  $H_0$  — индекс разнообразия по всем слоям. При независимости параметров величина меры связи будет нулевой, т. е.  $I = 0$ . При наличии связи величина ее силы будет возрастать ( $I > 0$ ) с увеличением меры связи. Здесь связь интерпретируется как уменьшение количества комбинаций значений параметров, реализуемых на территории.

Поскольку при вычислении индексов разнообразия Шеннона используются не сами значения параметров, а частоты появления их значений, то необходима процедура квантования и замены дискретных значений числами натурального ряда от 1 до  $M$ , где  $M$  — число групп. Здесь и далее подразумевается равномерное квантование всех слоев. Возникает естественный вопрос о дробности квантования. При малом количестве групп каждая подобласть может оказаться достаточно большой, и при вычислении значения  $H_j$  количество вариантов для качественного описания системы будет недостаточным. При большом количестве групп количество вариантов может значительно превышать размер исследуемой области и тем более скользящего квадрата. Это позволяет предположить, что в большинстве случаев реализованные в каждом из скользящих квадратов варианты сочетаний квантованных значений параметров будут различны (индекс разнообразия  $H_0$  близок к своему максимальному значению).

В целях проверки этой гипотезы проведен вычислительный эксперимент. Для этого мера связи оценивалась между тремя параметрами (горизонтальная и вертикальная расчлененность, фактор влажности) при различных значениях  $M = 2^i$  ( $i = 1, 2, \dots, 8$ ) для скользящего квадрата размером

Рис. 2. Выбор оптимального уровня квантования переменных для расчета информационной меры связи между фактором влажности и вертикальной расчлененностью рельефа.

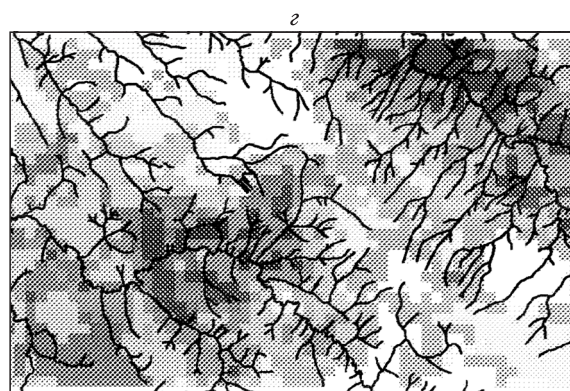
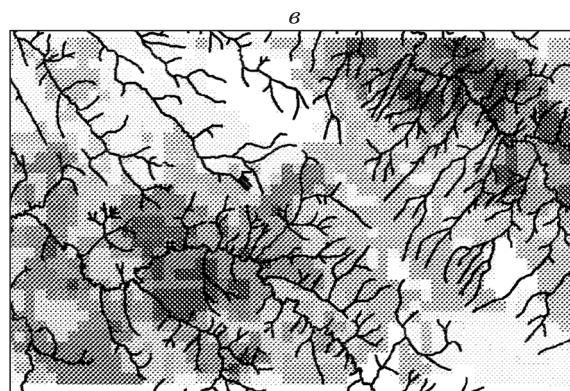
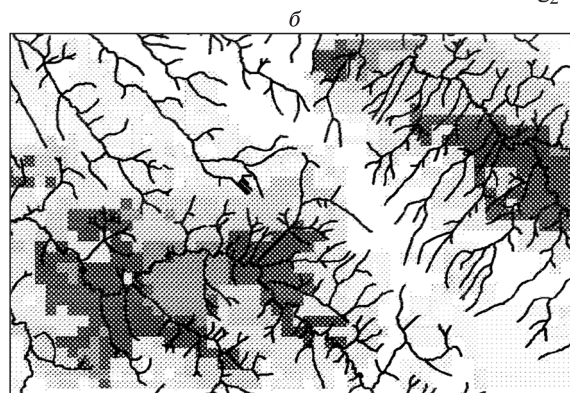
*a* — информационная мера связи:  $\min I$  — минимальное значение,  $\max I$  — максимальное значение,  $\Delta I = \max I - \min I$ ; *б* — классификация территории (8 классов) по совокупности информационных мер связи в скользящем квадрате со стороной 2000 м при дробности квантования переменных, 16 градаций; *в* — то же, 64 градации; *г* — то же, 128 градаций.



5 × 5 пикселей (рис. 2, *a*). Критерием наилучшего выбора количества групп, по нашему мнению, может считаться значение  $M^*$ , при котором достигается максимум функции  $\Delta I(M)$ . Выбор такого количества групп гарантирует максимальный диапазон изменения меры связи параметров. Сравнение результатов пространственного распределения типов межкомпонентных отношений в системе рельеф—растительность при разной дробности квантования переменных (см. рис. 2, *б–г*) показывает, что наиболее устойчивы результаты для слаборасчлененных территорий — плоских и выпуклых междуречий с неглубокими водосборными понижениями.

В пределах густорасчлененных местностей при изменении дробности квантования высока вероятность изменения смысловой интерпретации классов отношений. Сопоставление их с реальной ландшафтной структурой территории обнаруживает, что при промежуточной дробности квантования (см. рис. 2, *в*) функционально единые территории находятся в закономерном соотношении с положением границ местностей. Это соответствие не строгое (и не должно быть строгим), однако хорошо отделяются друг от друга группы урочищ, находящиеся под влиянием болотных массивов, густой сети дренирующих водотоков, глубоковрезанных расширенных участков долин, плоских междуречий и т. д.

Третий способ пространственного анализа межкомпонентных связей заключается в построении мультирегрессионной зависимости. Элементарный квадрат в данном алгоритме играет роль линейной окрестности, что снимает возможные вопросы о необходимости использования нелинейных связей. Изменение коэффициентов в уравнении множественной регрессии (параметров уравнения) показывает смену процессов, происходящих в исследуемой области пространства, а также оценивает силу связи между характеристиками ландшафта. Преимущество способа пространственного представления межкомпонентных связей посредством мультирегрессионных уравнений заключается в возможности не только оценить силу связей по коэффициенту детерминации, но и сопоставить по модулю и по знаку вклад отдельных факторов (независимых переменных) в варьирование зависимой переменной. Классификация объектов по значениям стандартизованных коэффициентов регрессионного уравнения методом *k*-средних позволяет выделить мозаичные геосистемы, единые по главному фактору дифференциации.



Четвертый способ применяется, если линейность отношений между характеристиками компонентов ландшафта вызывает сомнение. Инструментом анализа служат непараметрические коэффициенты корреляции. В отличие от регрессионных уравнений, этим способом невозможно интегрально оценить, в какой степени зависимая переменная описывается совокупностью независимых. Однако классификация объектов по совокупности значений коэффициентов корреляции зависимой переменной с каждой из независимых также позволяет найти в пространстве границы геосистем с единым типом межкомпонентных отношений.

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Смысловая интерпретация классов отношений в системе рельеф–растительность показана на примере расчета силы и знака связей с использованием непараметрического коэффициента корреляции Спирмена между значением фактора влажности, с одной стороны, и каждой из пяти характеристик дренированности — с другой. Каждому пикселю присвоено значение коэффициента Спирмена, полученное для окрестности размером 2000 × 2000 м, что приблизительно соответствует урочищному уровню ландшафтного разнообразия.

Все пиксели-урочища объединены в восемь классов по значениям пяти коэффициентов корреляции (см. таблицу). Классы отношений 1 и 2 отличаются лишь по модулю, но не по знаку коэффициентов, т. е. характеризуют разную степень проявления одного и того же процесса. Влажность возрастает при малой вертикальной и горизонтальной расчлененности, малых уклонах на большом расстоянии от дренирующих водотоков. Эти два класса характеризуют процесс формирования стока на краях водораздельных болотных массивов со снижением увлажненности урочищ по мере смены застойного водного режима проточным.

Класс 3 характеризует процесс концентрации стока и нарастания увлажненности в днищах долин. Класс 4 отражает нарастание влажности от выпуклых слаборасчлененных междуречий к днищам долин, что соответствует процессу перехода склонового стока в состояние застаивания влаги на поймах. Класс 5 соответствует возрастанию увлажненности на крутых выпуклых слаборассеченных склонах в результате процесса плоскостной разгрузки грунтовых вод по контакту моренных суглинков и коренных пермских мергелей на склонах. Класс 6 отличается от предыдущего другим знаком связи с горизонтальной расчлененностью, что соответствует выклиниванию грунтовых вод не на ровных склонах, а в оврагах, пересекающих крутые склоны. При классе 7 влажность возрастает в вогнутых днищах долин вблизи сильно меандрирующих рек и на участках их слияния. Класс 8 распространен на территориях в глубоковрезанных долинах с густой сетью притоков. Здесь влажность возрастает в процессе разгрузки грунтовых вод на контакте морен и мергелей в зонах дробления и выходов коренных пород на поверхность на крутых склонах.

Таким же образом проведена смысловая интерпретация классов отношений, полученных путем классификации стандартизованных коэффициентов регрессионного уравнения [9], а также определителя Якоби, информационных мер связи (с учетом описанных выше ограничений каждого из последних двух методов). При классификации территории интерес представляют лишь те классы, в которых якобианы близки к нулю почти по всем парам переменных. Это классы, в которых с высокой вероятностью существует функциональная связь между фактором влажности и каждой из характеристик дренированности. Классы выявлены в количестве двух-трех в зависимости от окрестности расчета. Пространственное распределение классов позволяет разделить территории с наиболее характерными отношениями того или иного масштаба. Связи ландшафтного масштаба (квадрат со стороной 6800 м)

**Средние значения коэффициентов корреляции Спирмена для классов связи фактора влажности с показателями дренированности**

Класс отношений	Расчлененность		Расстояние до тальвега	Уклон	Степень кривизны
	вертикальная	горизонтальная			
1	-0,17	-0,35	0,08	-0,11	-0,16
2	-0,57	-0,52	0,27	-0,46	-0,20
3	-0,43	0,31	0,04	-0,36	0,08
4	-0,31	-0,14	-0,16	-0,25	0,24
5	0,29	-0,28	-0,03	0,20	-0,10
6	0,21	0,14	0,06	0,20	-0,25
7	0,01	0,21	-0,18	0,01	0,23
8	0,37	0,38	-0,23	0,35	0,22

*Рис. 3.* Соотношение ареала классов с высокими значениями информационных мер связи (жирная линия) в ландшафтном масштабе (сторона скользящего квадрата 6800 м).

*a* — с ареалом высоких значений коэффициентов детерминации линейного регрессионного уравнения; *б* — с ареалами классов линейных отношений по регрессионной модели; *в* — с ареалами классов отношений по якобианам.

охватывают практически всю территорию, а центры функционально связанных территорий приурочены к Гридинской и Мостницкой местностям (рис. 3, *в*). Тем не менее это не означает, что вид связи одинаков на всей территории.

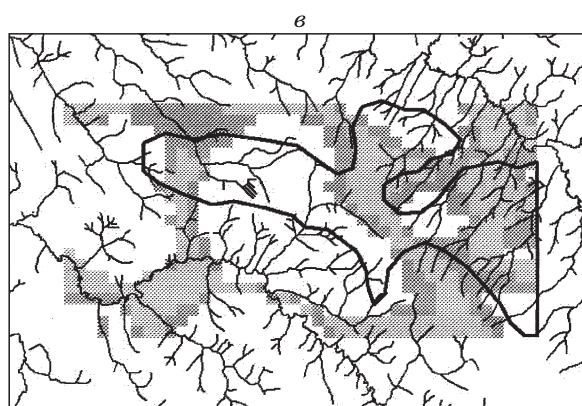
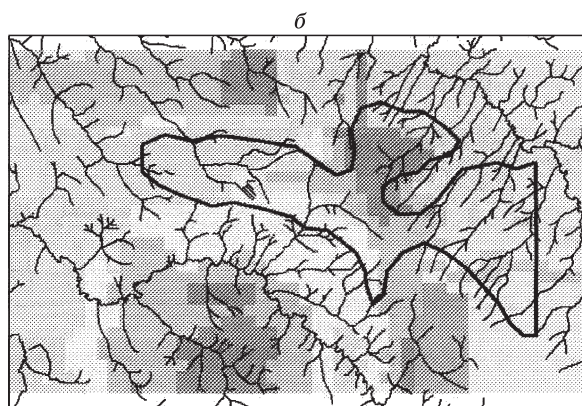
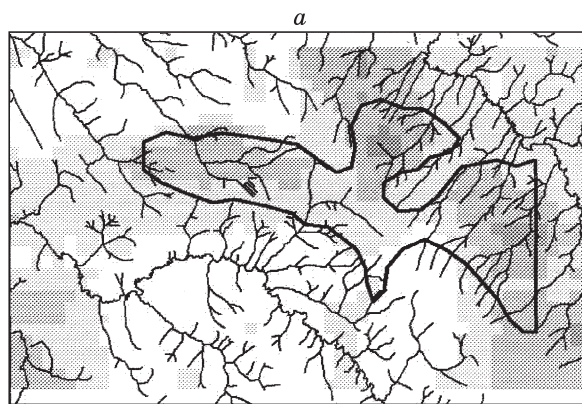
Участки устойчивости вида линейных отношений, инвариантных к масштабу, установленные методом классификации коэффициентов регрессионных уравнений, в основном совпадают с ареалами функциональной связи, определенными по якобианам как в урочищном, так и в ландшафтном масштабах (см. рис. 3, *a* и *б*). Интересная особенность обнаружена для междуречья Заячьей и Соденьги при анализе ареалов классов, выделенных по коэффициентам Спирмена в разных масштабах. Для квадратов со стороной 2000, 3600, 5200 м связь имеет тот же вид, что и по классификации регрессионных коэффициентов.

Однако если расчет осуществляется в ландшафтном масштабе в квадрате со стороной 6800, то появляется расхождение между знаками коэффициентов связи влажности с вертикальной расчлененностью. Кроме того, коэффициент детерминации линейного уравнения резко уменьшается при изменении окрестности расчета от 5200 к 6800 м. Это позволяет с высокой вероятностью утверждать, что на данном участке: 1) функциональная связь влажности с рельефом существует; 2) связь эта носит линейный характер в диапазоне масштабов от урочищного до местностного (квадраты от 2000 до 5200 м); 3) есть основания предполагать изменение вида связи на нелинейный в ландшафтном масштабе (со стороной квадрата 6800 м).

При совпадении ареалов классов отношений с высокими значениями информационных мер с ареалами высоких значений коэффициента детерминации регрессионного уравнения можно говорить о действительно достоверной связи линейного типа. Если же информационная мера показывает наличие связи, а коэффициент детерминации низок, то более вероятно отклонение связи от линейности.

Для ландшафтного масштаба (квадрат расчета 6800 м) установлено, что на правобережной части полигона (междуречье Заячьей и Соденьги) с достаточно высокой точностью совпадают ареалы классов с высокими значениями информационных мер связи и высокими значениями коэффициентов детерминации  $R^2 > 0,2$  (см. рис. 3). При этом в основном совпадает содержательная интерпретация классов отношений, выделенных с применением информационных и регрессионных методов. Четко отделяются территории с отсутствием связей как по информационной мере, так и по коэффициентам детерминации регрессионных уравнений вдоль долины Заячьей и по ее левобережью.

В то же время в Мостницкой местности вблизи узла соприкосновения разнонаправленных линеаментов на междуречье присутствует участок, для которого значения информационной меры связи высоки, но значения якобианов парных отношений показывают отсутствие функциональной связи. В таком случае, видимо, следует больше доверять информационной мере связи, нечувствительной к резким пикам значений переменных в пределах квадрата.



Наиболее серьезное расхождение имеет место при сравнении ареалов связей, выявляемых информационным методом и по якобиану в урочищном масштабе. Если информационные меры показывают наличие связи в сильнорасчлененных местностях, то согласно якобиану функциональная связь там отсутствует, но она, наоборот, выражена на слабонерасчлененных междуречьях. Таким образом, информационные меры в основном подтверждают результаты, полученные регрессионными методами, хотя и сокращая их достоверный ареал, но они не совпадают с результатами расчетов связей по якобиану. Возможно, такое несовпадение объясняется различной точностью оценки частных производных, являющихся составными частями якобиана. На территориях, где изменение параметров происходит относительно медленно и гладко (малые уклоны рельефа, слабая расчлененность), значения частных производных оцениваются с большей точностью, чем там, где происходит резкое изменение параметров (резкие переходы от плоских урочищ к крутосклонным).

Как уже отмечалось, оценки частных производных вычисляются на дискретном множестве пространственных переменных. Использование различных масштабов позволяет сблизить точности оценок и способствует улучшению итоговых результатов применения определителя Якоби при анализе взаимосвязей параметров. Предложенный А. К. Черкашиным [8] метод оценки наличия взаимосвязей для трех параметров, использующий условие Эйлера, не только обладает всеми недостатками, проявляющимися при вычислении якобиана, но и сужает до класса однородных функций<sup>1</sup> оцениваемые взаимосвязи.

### ВЫВОДЫ

На основании проведенных исследований можно утверждать, что, во-первых, наиболее широкие возможности для выявления функционально целостных геосистем с единым типом межкомпонентных отношений предоставляет мультирегрессионное моделирование, для верификации результатов которого могут быть использованы непараметрическая корреляция, информационные меры связи и детерминанты Якоби. Во-вторых, результат выделения функционально целостных геосистем посредством информационных мер связи зависит от дробности квантования переменных. В-третьих, применимость детерминанта Якоби для выделения функционально целостных геосистем ограничивается территориями с плавным изменением параметров и невозможностью поиска взаимосвязей для более чем двух параметров. И, в-четвертых, сопоставление результатов выделения функционально целостных геосистем посредством параметрических и непараметрических методов в нескольких масштабах позволяет выявить иерархические уровни организации ландшафта, на которых возникает нелинейная составляющая межкомпонентных отношений.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (08-05-00441, 05-05-64335).*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Wu J., David J. L.** A spatially explicit hierarchical approach to modelling complex ecological systems: theory and applications // *Ecol. Modelling.* — 2002. — Vol. 153. — P. 7–26.
2. **Phillips J. D.** Global and local factors in earth surface systems // *Ecol. Modelling.* — 2002. — Vol. 149, N 3. — P. 257–272.
3. **Marceau D. J.** The scale issue in social and natural sciences // *Canad. Journ. of Remote Sensing.* — 1999. — Vol. 25, N 4. — P. 347–356.
4. **Turner M., Gardner R. H., O'Neill R. V.** *Landscape Ecology in Theory and Practice: Pattern and Process.* — New York: Springer Verlag, 2001. — 352 p.
5. **O'Neill R. V.** Hierarchy theory and global change // *SCOPE 35. Scales and Global Change: Spatial and Temporal Variability in Biospheric and Geospheric Processes* / T. Rosswall, R. G. Woodmansee, and P. G. Risser, eds. — Chichester: John Wiley, 1988. — P. 29–45.
6. **Пузаченко Ю. Г., Дьяконов К. Н., Алещенко Г. М.** Разнообразие ландшафта и методы его измерения // *География и мониторинг биоразнообразия.* — М.: Экоцентр Моск. ун-та, 2002. — С. 76–177.
7. **Хорошев А. В.** Ландшафтная структура бассейна р. Заячья (Важско-Северодвинское междуречье, Архангельская область). — М., 2005. — 158 с. — Деп. ВИНТИ 27.09.2005, № 1253-B2005.
8. **Черкашин А. К.** Полисистемное моделирование. — Новосибирск: Наука, 2005. — 279 с.
9. **Хорошев А. В., Алещенко Г. М.** Пространственная дифференциация типов межкомпонентных отношений в ландшафте // *Материалы Междунар. конференции.* — Иркутск: Изд-во Ин-та географии СО РАН, 2005. — С. 42–46.

*Московский государственный  
университет*

*Поступила в редакцию  
6 февраля 2007 г.*

<sup>1</sup> Однородная функция — функция  $F(x_1, x_2, \dots, x_n)$ , удовлетворяющая условию: существует такое действительное число  $\beta$  — показатель однородности, что при любом  $\alpha$  имеет место равенство  $F(\alpha x_1, \alpha x_2, \dots, \alpha x_n) = \alpha^\beta F(x_1, x_2, \dots, x_n)$ .