

## НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

© А. В. ХОРОШЕВ, А. П. ЕРЕМЕЕВА, К. А. МЕРЕКАЛОВА

## ОЦЕНКА МЕЖКОМПОНЕНТНЫХ СВЯЗЕЙ В СТЕПНОМ И ТАЕЖНОМ ЛАНДШАФТАХ С УЧЕТОМ ИЗМЕНЯЕМОЙ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ЕДИНИЦЫ

**Постановка задачи и литературный обзор.** В 1970-х гг. в географии была сформулирована проблема изменяемой пространственной единицы (*modifiable areal unit problem*) [9], подходы к решению которой сейчас активно разрабатываются в ландшафтной экологии [10]. Ее суть состоит в том, что в зависимости от целей существует множество способов расчленения территории на неперекрывающиеся ареалы; невозможно оценить достоверность результатов вне зависимости от выбранной пространственной единицы; при изменении размеров и конфигурации пространственной единицы результаты анализа будут также меняться. Для нелинейных систем, к числу которых относится ландшафт, важной задачей считается выявление критических масштабов, которые позволяют описать динамику системы в целом [7]. Совпадение характерных пространственных масштабов варьирования свойств ландшафта может указывать на прямые взаимодействия компонентов [8].

Выбор размера операционной единицы должен отражать гипотезу исследователя о процессе, порождающем пространственные различия в ландшафте, и о размерах элементарной единицы, адекватно отражающей уровни интенсивности процесса. Для того чтобы выяснить, подчиняется ли измеренное свойство компонента ландшафта тому или иному процессу, необходимо проверить серию гипотез о размерах элементарной пространственной единицы. Речь идет о «вписанности» операционной единицы в процесс, захватывающий некоторое множество пространственных единиц. Поэтому задача формулируется как определение межуровневых связей — одностороннего влияния вышестоящей геосистемы на нижестоящую, задающего рамочные условия для возможного диапазона состояний последней. Задача определения параметров вышестоящей геосистемы путем перебора серии гипотез о ее размерах решалась авторами ранее [1-6]. Одинаковые по размерам элементарные пространственные единицы будем называть *операционными территориальными единицами* (ОТЕ). Выбирая ОТЕ меньшего размера, исследователь проверяет гипотезу, что измеряемые свойства варьируют согласованно с высокочастотной мозаикой; выбирая ОТЕ большего размера — гипотезу, что существуют общие для участка свойства независимо от внутренней мозаичности.

Сравнение моделей связи между группами свойств ландшафта и рельефом окрестностей, построенных при разном разрешении и размере окрестности, покажет, какой иерархический уровень пространственной дифференциации задает рамочные условия для группы свойств ОТЕ.

Основная цель представляемой работы — разделить вклады разномасштабных факторов в пространственное варьирование свойств ландшафта. Решаются задачи: 1) сравнить оценки тесноты межуровневых связей, полученные при разных размерах ОТЕ; 2) определить отличия двух ландшафтов по сложности иерархической организации на примере характеристик увлажнения.

**Материалы и методы.** В качестве полевых материалов использованы данные ландшафтных описаний, полученные по одинаковой методике в двух регионах.

Первый полигон исследования расположен в степной зоне на границе Предуралья с Уральской складчатой страной. Участок «Буртинская степь» площадью 24 км<sup>2</sup> (186 описаний) принадлежит Оренбургскому государственному заповеднику и находится в режиме естественной степи около 25 лет [2-4]. Буртинская степь лежит в континентальном секторе подзоны типичных степей на междуречье левых притоков Урала — рек Урта-Буртя и Бурля, в ландшафте предгорной глубокорасчлененной структурно-эрозионной возвышенной равнины, сложенной пермь-триасовыми осадочными породами молассовой формации, в сочетании с карстовыми котловинами на месте соляно-гипсовой структуры, выполненными юрскими озерными суглинками, с типичными разнотравно-типчаково-залесскоковыльными степями на южных черноземах [1].

Второй полигон исследования площадью 10 км<sup>2</sup> (181 описание) расположен в Устьянском районе Архангельской области в среднетаежном ландшафте структурно-эрозионно-моренной равнины на основании из пермских мергелей с вторичными елово-березово-сосновыми лесами на подзолистых почвах в сочетании с верховыми сосново-кустарничково-сфагновыми болотами на торфяно-глеоземах [5]. Заболоченные понижения, плоские слабодренированные поверхности и склоны выстраиваются в ряд по увлажнению почв и доле влаголюбивых видов в фитоценозе.

Площадки описания расположены на обеих территориях относительно равномерно с некоторым сгущением сети при увеличении дробности ландшафтной структуры. На рис. 1 представлены ландшафтные карты участков урочищного уровня, составленные на основе топографических карт масштабов 1 : 10 000 и 1 : 25 000, космических снимков и полевых описаний (легенды ввиду ограниченного объема статьи приводятся в упрощенном виде только для групп урочищ). На основе горизонталей топографических карт методом интерполяции kriging созданы цифровые модели рельефа (ЦМР) с разрешением 30 м и путем агрегирования — 360 м. Для Архангельского участка ЦМР с разрешением 400 м составлена на основе карты масштаба 1 : 50 000. Ранее составлена также ландшафтная карта масштаба 1 : 50 000 на территорию всего ландшафта, включающего территорию исследования [5].

На *первом шаге* свойства описанной в поле фации приписаны квадратной ОТЕ со стороной 30 м (первый вариант) и 360—400 м (второй вариант). Так как многие свойства ландшафта (обилие видов, мощность горизонтов почв и т. п.) коррелируют между собой, средствами программы Statistica 7.0 проведена процедура снижения размерности методом многомерного непараметрического шкалирования, подробное описание которой применительно к гео-

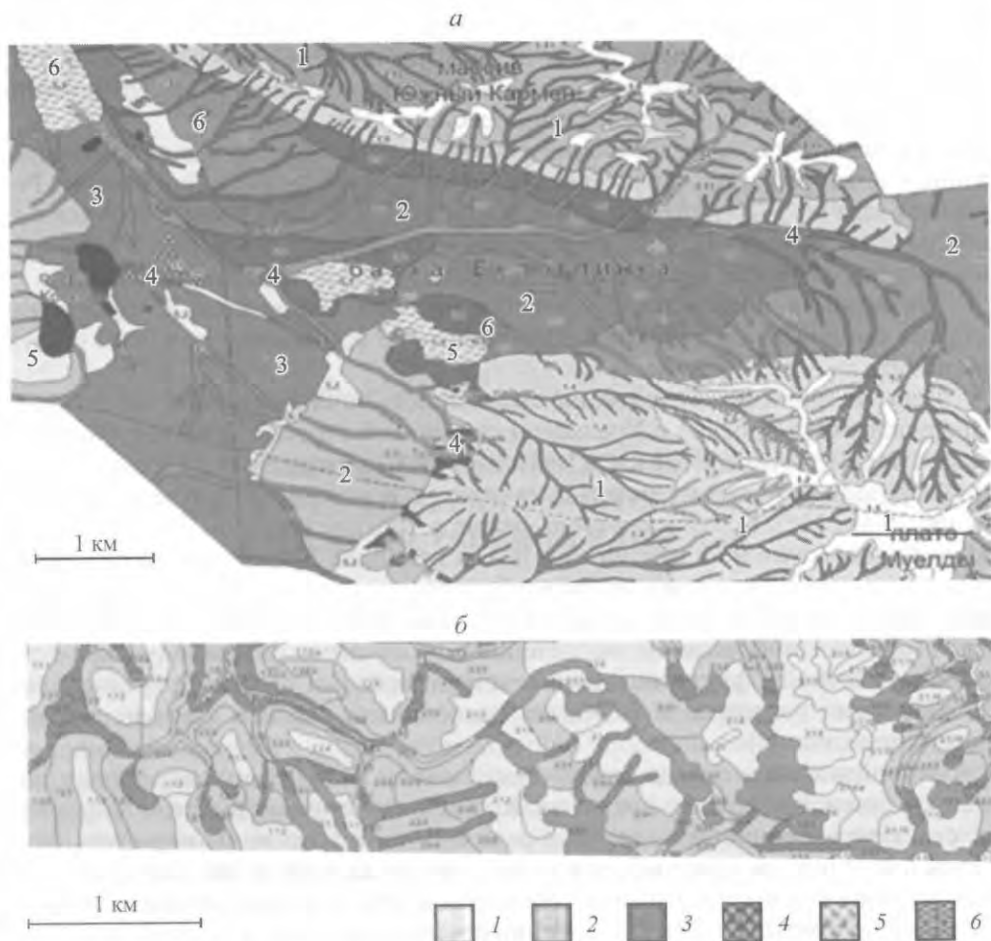


Рис. 1. Ландшафтные карты полигонов исследований.

*a* — Буртинская степь. Группы урочищ: 1 — денудационные сильнорасчлененные возвышенные равнины с сочетанием плато, гребней, волнистых склонов, сложенные элювиальными суглинками под разнотравно-типчаково-залесскоковыльными степями на черноземах южных карбонатных; 2 — аккумулятивно-денудационные слабоволнистые и плоские пологонаклонные равнины, слаборасчлененные, под разнотравно-типчаково-ковыльными степями на маломощных черноземах южных, местами карбонатных; 3 — пониженные нерасчлененные субгоризонтальные и пологонаклонные аккумулятивные равнины с карстово-суффозионными западинами под разнотравно-злаковыми степями с примесью галофитов на маломощных и среднемощных черноземах южных суглинистых; 4 — эрозионные ложбины, балки, овраги под злаково-разнотравными степями и кустарниками, местами с березово-осиновыми колками и черноольшаниками, на лугово-черноземных суглинистых почвах; 5 — понижения в пределах аккумулятивных равнин под осоковыми и тростниковыми лугами на луговых карбонатных и торфяных низинных почвах; 6 — понижения в крайних частях аккумулятивных равнин с грудницевыми, типчаковыми, селитрянопопыльными сообществами на солончаках и солянковыми сообществами на солончаках типичных. Виды урочищ показаны контурами со штриховками, обозначены дробными индексами.

*б* — Архангельская тайга. Группы урочищ: 1 — плоские поверхности междуречий, сложенные двухчленными песчано-супесчаными и суглинистыми отложениями, под сосновыми и березово-сосново-еловыми кустарничково-зеленомошными и долгомошными лесами на подзолистых и торфянисто-подзолистых почвах; 2 — пологие и покатые приводораздельные склоны с сосновыми и березово-елово-сосновыми кустарничково-зеленомошными лесами на подзолистых почвах; 3 — крутые коренные склоны долин с близким залеганием мергелей с осиново-еловыми и сосново-сероольховыми субнеморальными лесами на дерновых и дерново-карбонатных почвах; 4 — водосборные понижения и пологосклонные ложбины на междуречьях и приводораздельных склонах с елово-сосно-

графическим и экологическим данным содержится в работе [3]. В результате получен небольшой набор интегральных переменных, которые в статистических программах традиционно называют «осями». Так, основная часть (60—70 %) дисперсии обилия видов травяного яруса охарактеризована 8 взаимонезависимыми осями. Положительно коррелирующие свойства имеют близкие по знаку и по модулю коэффициенты чувствительности к «оси», отрицательно коррелирующие свойства — противоположные по знаку коэффициенты. Каждая из осей отражает сопряженное варьирование в пространстве ряда свойств ландшафта в соответствии с одним из независимых экологических градиентов (влажность, трофность, каменистость, антропогенная нарушенность и т. д.). Знак, присваиваемый коэффициентам программой, не имеет значения: принципиально только то, что коэффициенты для свойств с противоположными реакциями на экологический фактор имеют противоположные знаки. Положение каждой фации на оси отражает ее отношение к соответствующему фактору.

В данной работе в качестве предмета исследования и примера для иллюстрации методики выбрана ось влажности местообитания (см. таблицу), характеризующая обилие травяных видов (по шкале Друде, обилие «*un*» соответствует градации 1, «*cor3*» — градации 6), чувствительных к этой характеристике. В средней тайге это соотношение гигрофитов и мезофитов, а в типичных степях — мезофитов и ксерофитов.

На *втором шаге* на множестве ОТЕ (точнее — фаций, которые им принадлежат) строится модель межуровневых связей в виде серии мультирегрессионных уравнений второй степени. Оценивается теснота связи между свойствами ОТЕ грубого разрешения (360—400 м, модель X) либо дробного (30 м, модель Y) и свойствами гипотетических вышестоящих квадратных геосистем с длиной стороны от 3 до 15 сторон ОТЕ. В качестве независимых переменных используются четыре морфометрические характеристики рельефа окрестностей, рассчитанные по ЦМР в программе Fracdim (автор Г. М. Алещенко): кривизна горизонтальная и вертикальная, расчлененность горизонтальная (сумма длин тальвегов) и вертикальная (стандартное отклонение высот). Расчет производится в скользящем квадрате с ОТЕ в его центре. Если для одного из размеров окрестности связь характеризуется более высоким и достоверным коэффициентом детерминации (долей описанной дисперсии  $R^2$ ), чем для других окрестностей, то вероятен ландшафтный процесс (фактор) с соответствующим характерным пространством, который контролирует свойства ОТЕ.

На *третьем шаге* (модель Z) проверяется гипотеза, что остатки модели X являются вкладом узколокальных факторов, «мешающих» распознать чистый вклад факторов грубого масштаба. Остатки (разность между наблюдаемым и предсказанным моделью значениями) модели X включаются как зависимая переменная в модель Z. В ней независимые переменные характеризуют в бо-

---

выми кустарничково-долгомошными и сфагновыми лесами на торфянисто-подзолистых и торфяно-глебовых почвах; 5 — узкие выровненные и сегментные поймы, слабонаклонные террасы и крутосклонные балки с ивово-сероольховыми кустарничковыми высокотравными лесами и разнотравно-дерновиннозлаковыми лугами на перегнойно-глебовых, дерновых аллювиальных и агродерновых почвах; 6 — ложбинообразные и котловинообразные понижения по разрывным нарушениям в пределах междуречий с сосновыми пушицево-осоково-сфагновыми болотами на торфяно-болотных и торфяно-глебовых почвах. Виды урочищ показаны контурами, обозначенными индексами из нескольких цифр.

**Коэффициенты корреляции Пирсона между значениями «оси влажности» травостоя и измеренными в поле обилиями видов**

Буртинская степь		Архангельская тайга	
<i>Galatella villosa</i>	-0.69*	<i>Carex rostrata</i>	-0.62
<i>Artemisia marschalliana</i>	-0.65	<i>Comarum palustre</i>	-0.58
<i>Artemisia austriaca</i>	-0.59	<i>Equisetum palustre</i>	-0.33
<i>Festuca valesiaca</i>	-0.57	<i>Menyanthes trifoliata</i>	-0.32
<i>Koeleria cristata</i>	-0.55	<i>Eriophorum vaginatum</i>	-0.31
<i>Dianthus uralensis</i>	-0.52	<i>Orchis maculata</i>	-0.27
<i>Ephedra distachya</i>	-0.50	<i>Carex vesicaria</i>	-0.25
<i>Stipa zaleskii</i>	-0.43	<i>Calamagrostis canescens</i>	-0.23
<i>Euphorbia seguierana</i>	-0.42	<i>Juncus filiformis</i>	-0.14
<i>Stipa lessingiana</i>	-0.33	<i>Deschampsia caespitosa</i>	-0.14
<i>Jurinea ledebourii</i>	-0.25	<i>Trientalis europea</i>	-0.00
<i>Ferula tatarica</i>	-0.15	<i>Anthoxanthum odoratum</i>	0.03
<i>Agropyron pectinatum</i>	-0.12	<i>Linnaea borealis</i>	0.08
<i>Kochia prostrata</i>	-0.10	<i>Dactylis glomerata</i>	0.13
<i>Helictotrichon desertorum</i>	-0.05	<i>Melampyrum silvaticum</i>	0.14
<i>Pulsatilla patens</i>	-0.00	<i>Antennaria dioica</i>	0.16
<i>Verbascum phoenicium</i>	0.01	<i>Gymnocarpium dryopteris</i>	0.20
<i>Galatella angustissima</i>	0.04	<i>Athyrium filix-femina</i>	0.22
<i>Artemisia nitrosa</i>	0.05	<i>Lycopodium clavatum</i>	0.23
<i>Tanacetum vulgare</i>	0.19	<i>Pulmonaria officinalis</i>	0.27
<i>Phragmites australis</i>	0.20	<i>Paris quadrifolia</i>	0.28
<i>Hypericum perforatum</i>	0.21	<i>Asarum europaeum</i>	0.28
<i>Bromopsis inermis</i>	0.23	<i>Aegopodium podagraria</i>	0.33
<i>Asparagus officinalis</i>	0.29	<i>Majanthemum bifolium</i>	0.34
<i>Veronica longifolia</i>	0.34	<i>Orthilia secunda</i>	0.40
<i>Seseli libanotis</i>	0.35	<i>Pyrola rotundifolia</i>	0.44
<i>Artemisia pontica</i>	0.43	<i>Fragaria vesca</i>	0.49
<i>Sanguisorba officinalis</i>	0.58	<i>Geranium sylvaticum</i>	0.49
<i>Filipendula hexapetala</i>	0.66	<i>Oxalis acetosella</i>	0.53

Примечание. \*Выделены статистически достоверные значения.

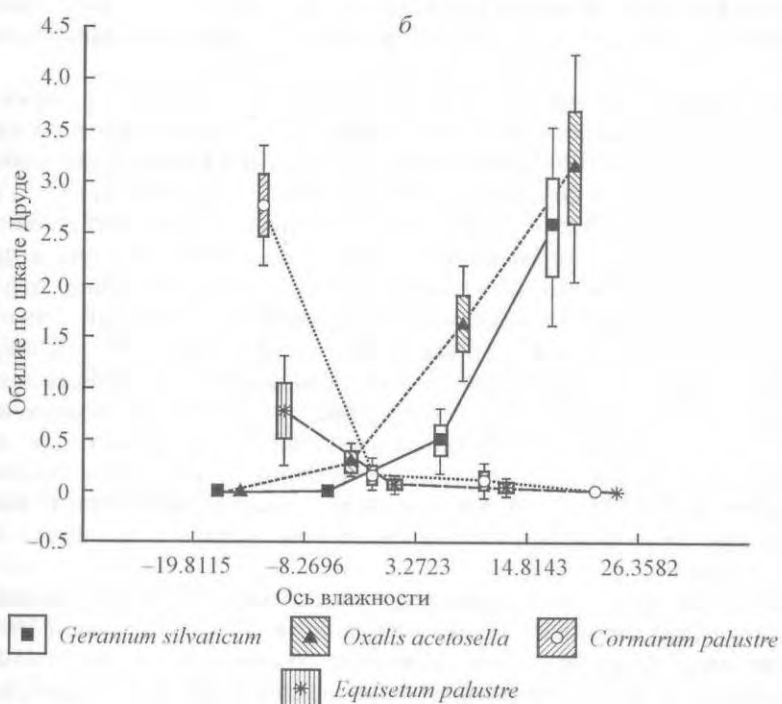
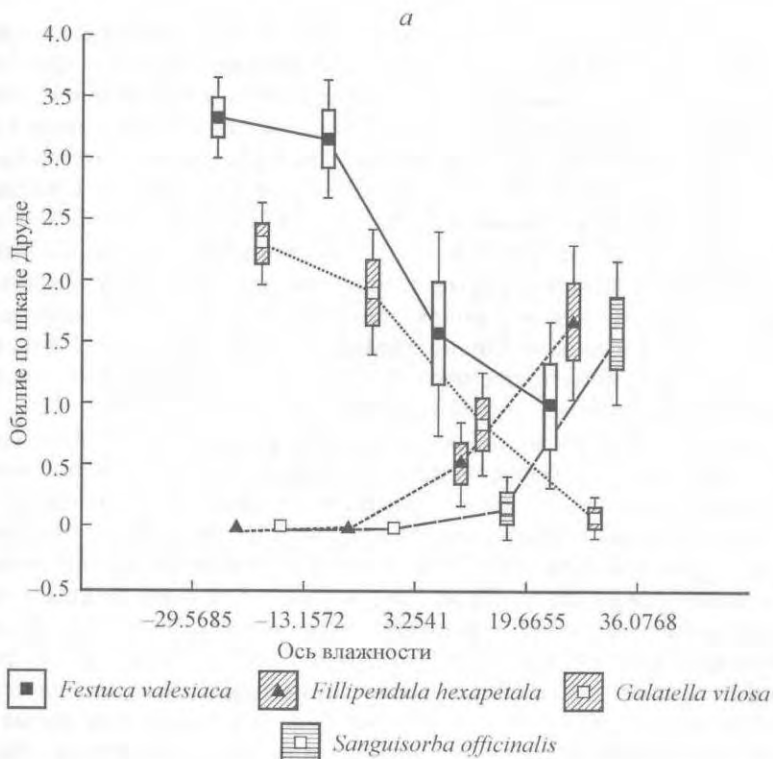
лее дробном масштабе рельеф окрестности со стороны от 3 до 15 сторон 30-метровой ОТЕ.

**Результаты.** В Буртинской степи интегральная переменная, интерпретируемая как изменения травостоя по градиенту увлаженности местообитания, оказалась первой по значимости. Максимальные значения «оси влажности» соответствуют местообитаниям с высоким обилием мезофитов — кровохлебки лекарственной, таволги обыкновенной, вероники колосистой, жабрицы порезниковой, полыни понтийской (рис. 2, а). Они характерны для днищ балок

Рис. 2. Диапазон обилий индикаторных видов по шкале Друде при разных интервалах значений оси влажности травостоя.

Для каждого интервала приведены среднее обилие и отклонения от среднего на одну (прямоугольник) и две («усы») среднеквадратические ошибки.

а — Буртинская степь, б — тайга Архангельской области.



и ложбин, наиболее затененных и увлажненных за счет задержания повышенного количества снега и более длительного его таяния (группы урочищ 4 и 5 на рис. 1, *a*). В связи с повышенным поступлением влаги в почву именно в таких позициях встречаются почвы с наиболее мощным гумусовым горизонтом (мощность горизонта АU в диапазоне двух среднеквадратических ошибок 34—46 см, местами — более 100 см), более кислой его реакцией (рН 6.0—6.4), чем на гребнях (мощность АU 12—17 см, рН 7.1—7.4) и склонах (мощность АU 19—28 см, рН 6.9—7.3). При минимальных значениях «оси влажности» преобладают типичные ксерофиты: грудница шерстистая, полыни Маршалла и австрийская, типчак, тонконог гребенчатый, ковыль Залесского (рис. 2, *a*). Их высокое обилие характерно для крутых склонов, вершин гребней и холмов. Почвы таких мест, как правило, карбонатные с поверхности, мелкогумусированные, сильнокаменистые.

При размере ОТЕ 360 м цифровая модель рельефа различает высотные уровни пониженных слаборасчлененных равнин («балка Белоглинка» на рис. 1, *a*) шириной около 2.5 км и возвышенных сильнорасчлененных массивов Муелды и Южный Кармен, имеющих диаметр около 4 км, что примерно соответствует рангу местностей. При этом не отражаются малые эрозионные формы и гребни между ними. Делается допущение, что изученная в поле фация является носителем общих свойств ОТЕ размером 360 м. Так, в пределах ОТЕ, относящейся к массиву Муелды (группа урочищ 1 на рис. 1, *a*), могут оказаться фации днищ эрозионных форм с намытыми почвами под березовыми и осиновыми колками (группа урочищ 4 на рис. 1, *a*) и выпуклые гребни со смытыми почвами и большим количеством петрофитов, однако там невозможны фации солончаков (группа урочищ 6 на рис. 1, *a*) или карстовых воронок, образующие пятна только среди низменных равнин (группы урочищ 2, 3 на рис. 1, *a*).

Построены мультирегрессионные модели X межуровневых связей между свойствами ОТЕ размером 360 м и ее окрестностей в квадрате со стороной 1080, 1800, 2520, 3240, 3960, 4680, 5400 м. Наиболее высокое значение  $R^2$  получено для окрестности со стороной 2520 м (рис. 3, *a*), а именно 15 % описанного варьирования свойств травостоя [1]. Это немного, однако именно такие размеры имеет участок низменной слаборасчлененной равнины в пределах территории. На фоне слабых межуровневых связей мы видим, что все же связь ОТЕ чуть сильнее с тем размером окрестностей, который сопоставим с выделами, имеющими ландшафтный смысл, в данном случае — с местностями. Однако остаются недоописанными 85 % варьирования свойств травостоя, чувствительных к влажности. Анализ пространственной приуроченности максимальных (по модулю) остатков от модели X показывает, что моделью не описываются небольшие лощины и луговины с размером меньше ОТЕ (группа урочищ 4 на рис. 1, *a*), в некоторых случаях — вершины холмов. Они резко отличаются от доминирующих геосистем, в связи с чем плохо «вписываются» в модель.

По аналогии проведено сравнение моделей межуровневых связей Y. Теперь каждая фация считалась носителем свойств ОТЕ со стороной 30 м, которая в свою очередь подчиняется геосистеме со стороной от 90 до 450 м (шаг 60 м). Эти модели более эффективно описывают варьирование свойств травостоя, чувствительных к влажности, чем модели X. Наилучшая модель Y получена для окрестности со стороной 150 м и описывает 33 % варьирования свойств травостоя, т. е. больше, чем любая из моделей X (рис. 3, *a*). Ширину

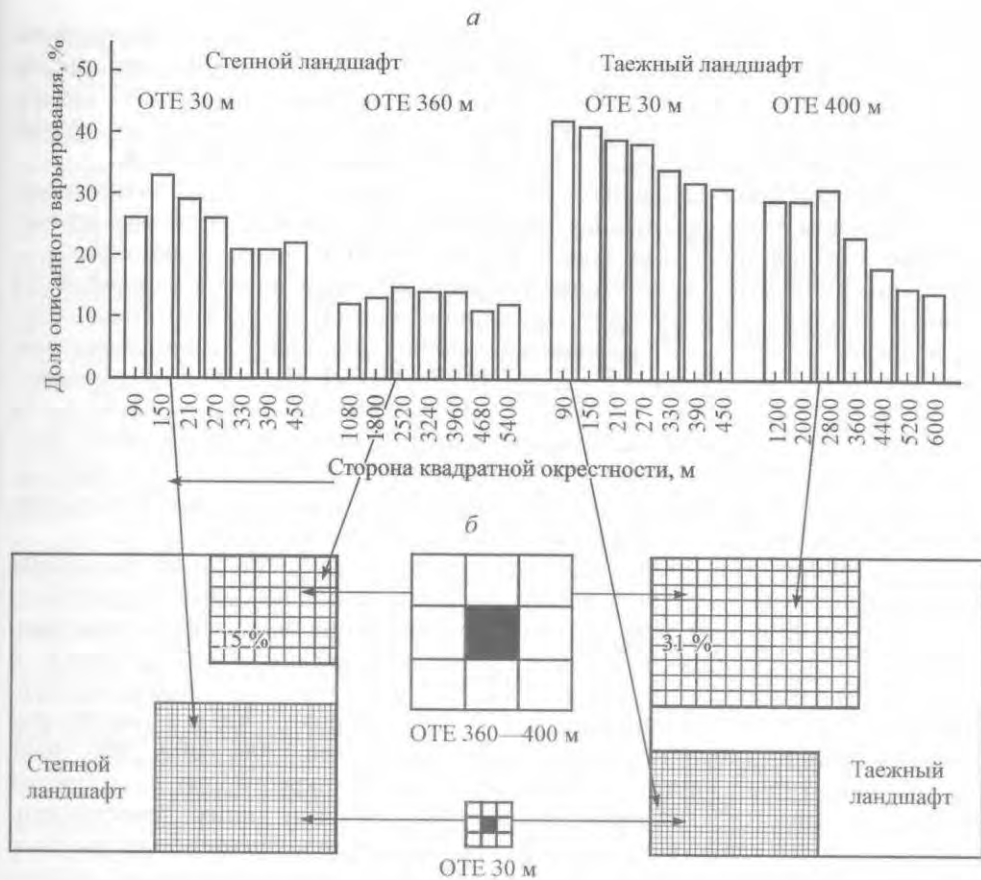


Рис. 3. Эффект изменения размера операционной территориальной единицы (ОТЕ) для результата оценки объясняемой морфометрическими свойствами рельефа окрестности доли варьирования свойств травостоя степного и таежного ландшафтов, чувствительных к влажности.

*a* — доля варьирования, описываемая при разных сочетаниях размера ОТЕ и размера окрестности в степном и лесном ландшафтах (модели *X* и *Y*).

*б* — независимые вклады наилучших (стрелка от *a*) моделей грубого (360—400 м) и дробного (30 м) разрешения в описание варьирования: редкая штриховка — часть варьирования, описываемая моделью грубого разрешения (эффект перераспределения влаги на уровне местности), частая штриховка — остатки модели грубого разрешения, описываемые моделью дробного разрешения (узколокальный эффект перераспределения влаги) — модель *Z*, часть квадрата без штриховки — часть варьирования, не описываемая морфометрическими свойствами рельефа при грубом и дробном разрешении. В центре — символическое изображение ОТЕ двух размеров и окрестности для расчета морфометрических свойств рельефа.

около 150 м имеют на местности многочисленные лощины (группа урочищ 4 на рис. 1, *a*) и гребни, характерные в основном для возвышенных сильнорасчлененных местностей.

Для проверки гипотезы, что остатки модели *X* будут объясняться дифференциацией влажности местообитаний на узколокальном уровне, построена серия моделей *Z*, где в качестве зависимой переменной выступают остатки модели *X*, а в качестве независимых переменных — морфометрические характеристики окрестностей со стороной от 90 до 450 м (шаг 60 м), рассчитанные при ОТЕ со стороной 30 м. 32 % варьирования остатков описываются в модели, связывающей их с характеристиками окрестности со стороной 150 м



(модель Z). Остальные модели типа Z описывают 20—28 % варьирования (рис. 3, б). Примечательно, что из всех перебранных размеров окрестностей наиболее значимым оказался 150 м, т. е. такой же, как и в модели Y. Тем самым подтверждается гипотеза, что недостаточное качество модели грубого разрешения объясняется именно вкладом узколокальных эффектов.

В среднетаежном ландшафте при максимальных значениях оси влажности в травяном ярусе преобладают кислица, герань лесная, грушанка круглолистная, ортилия однобокая, копытень европейский, сныть обыкновенная — виды, объединяемые предпочтением хорошо дренированных междуречий, их пологих склонов, покатых и крутых склонов долин (рис. 2, б). Типичная формула древостоя 4С4Е2Б. Развиваются слабокислые слабо- и среднеподзолистые почвы (АТ 0—5 см, ЕЛ 5—25 см, В 25—50 см). Минимальным значениям оси влажности соответствуют фацции с высоким обилием видов из групп гигрофитов: осока вздутая, сабельник болотный, хвощ болотный, вахта трехлистная, пушица влагалищная, ятрышник пятнистый (рис. 2, б). Эти виды характерны для ложбинообразных понижений в основании ступеней междуречий с разреженными сосняками (7СЗБ) на торфяно-глееземах.

При размере ОТЕ 400 м цифровая модель рельефа таежного ландшафта различает несколько ступеней междуречья, что примерно соответствует рангу групп урочищ (рис. 1, б). При этом дифференциация на мелкие эрозионные формы, водосборные понижения, узкие поймы и террасы (группы урочищ 4—6 на рис. 1, б) в отличие от модели с ОТЕ 30 м не отражается. Модели межуровневых связей X были построены для ОТЕ со стороной 400 м и гипотетических вмещающих геосистем с линейными размерами 1200, 2000, 2800, 3600, 6000 м. Наилучшее качество имеет модель для окрестности со стороной 2800 м: описывается 31 % варьирования (рис. 3, а). Как видим, качество описания влажности свойствами рельефа при данном разрешении более высокое по сравнению со степным ландшафтом. Максимальные (по модулю) остатки от модели X сосредоточены либо в прирвовочных позициях междуречий, либо на днищах ложбин. Так же, как и в степном ландшафте, модель X недоописывает либо избыточно влажные, либо наиболее хорошо дренированные микроформы рельефа, которые не распознаются ЦМР с разрешением 400 м.

На следующем шаге для таежного ландшафта построена серия моделей Y, проверяющих серию гипотез, что оси влажности подчиняется геосистемам, линейный размер которых от 90 до 450 м (шаг 60 м). Модели для ОТЕ 30 м более эффективно описывают варьирование свойств травостоя, чем модели для ОТЕ 400 м (рис. 3, а). Коэффициенты детерминации варьируют от 0.31 до 0.42, причем наилучшее описание получено для ближайшей окрестности со стороной 90 м. Затем построена серия моделей Z, в которых остатки модели X выступают как зависимая переменная, а морфометрические характеристики окрестности при ОТЕ 30 м — как независимые переменные. Моделью для окрестности 90 м описано 26 % варьирования остатков, в то время как рельеф других окрестностей описывает лишь от 10 до 22 % (рис. 3, б). Именно для фацций прирвовочных частей междуречий и заболоченных ложбин и водосборных понижений (группа урочищ 4 и 6 на рис. 1, б), влажность которых модель X описывает с большой ошибкой, соотношение мезофитов и гигрофитов хорошо объясняется моделью Z. Итак, недостаточное качество модели грубого разрешения как минимум на четверть объясняется вкладом локальных эффектов фациального уровня, отражающих перераспределение влаги между формами микрорельефа.

**Обсуждение результатов.** В данной работе обсуждается лишь один, хотя и немаловажный, признак, характеризующий вертикальную структуру ландшафта, — положение травостоя на оси влажности почв. Сходным образом можно анализировать и иерархические уровни организации других свойств компонентов ландшафта. В рассмотренном случае оказалось, что в степном ландшафте пространственное распределение чувствительных к влажности свойств травостоя контролируется в основном локальными процессами перераспределения влаги в окрестности около 150 м. В таежном ландшафте сопоставимы по вкладу независимые эффекты двух иерархических уровней. При этом локальное перераспределение влаги между формами микрорельефа в окрестности 90 м более значимо, чем перераспределение влаги между группами форм мезорельефа со средними размерами 2800 м. В обоих ландшафтах недостатки модели более грубого разрешения примерно на четверть-треть объясняются неучтенными узколокальными эффектами. Это означает, что для малых форм, выделяемых цифровой моделью рельефа с ОТЕ 30 м, т. е. сопоставимых с фацией, увлажнение является первостепенным информативным признаком. Тогда в название фаций необходимо включать характеристику гигротопа. Для степного ландшафта очевидна необходимость в названиях растительных ассоциаций включать названия видов травостоя из группы чувствительных к влажности. Таежный ландшафт с его более сложной структурой предоставляет больше вариантов для выбора индицирующих увлажнение видов: по травяному ярусу (как в данной работе), моховому, кустарничковому и т. д. (если для них будет доказана чувствительность к тому же уровню организации рельефа). Аналогичные оценки можно провести для других экологических факторов (трофности, каменистости и др.) и компонентов (например, почв) и тем самым получить (или не получить) основания для признания их информативными для данного иерархического уровня [1]. Что касается более высокого уровня, то для степного ландшафта не доказана необходимость включения характеристик увлажнения в название единицы со средним размером 2520 м. В частности, виды урочищ в пределах группы 1 или группы 2, показанные на рис. 1, а разными штриховками, незначимо отличаются друг от друга по характеру увлажнения и соотношению мезофитов и ксерофитов. Для таежного ландшафта включение характеристик увлажнения необходимо для единицы со средним размером 2800 м, которые отражают контрасты слабодренированных междуречий и глубокооврезанных крупных долин (группы урочищ 1—3 на рис. 1, б).

**Выводы.** 1. Вклад процессов разного масштаба в распределение чувствительных к влажности видов трав в степном и лесном ландшафтах различен. Для степного ландшафта основное значение имеют узколокальные процессы перераспределения влаги, для лесного — как узколокальные процессы, так и контрасты увлажнения крупных местностей. 2. Малая теснота межуровневых связей согласно моделям, построенным при большом размере операционной территориальной единицы, в большой степени объясняется зависимостью свойств ландшафта от узколокальных процессов. 3. Для степного ландшафта включение характеристик влажности местообитания в название ландшафтных единиц необходимо лишь на низшем иерархическом уровне. Для лесного ландшафта характеристики увлажнения существенны как минимум для двух иерархических уровней.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 11-05-00954). Авторы благодарят сотрудников Оренбургского государственного заповедника за всемерное содействие в работе.

## Список литературы

- [1] *Еремеева А. П.* Пространственные масштабы проявления факторов дифференциации ландшафтов Буртинской степи (Оренбуржье) / Вестн. МГУ. Сер. 5. География. 2012, № 4. С. 48—53.
- [2] *Калмыкова О. Г.* Закономерности распределения степной растительности «Буртинской степи» (госзаповедник «Оренбургский»). Дис. ... канд. биол. наук. СПб., 2008. 156 с.
- [3] *Пузаченко Ю. Г.* Математические методы в экологических и географических исследованиях. М.: Академия, 2004. 416 с.
- [4] *Степной заповедник «Оренбургский»: физико-географическая и экологическая характеристика.* Екатеринбург: УрО РАН, 1996. 167 с.
- [5] *Хорошев А. В.* Ландшафтная структура бассейна р. Заячья (Важско-Северодвинское междуречье, Архангельская область). М., 2005. 158 с. Деп. ВИНТИ 27.09.2005 № 1253-B2005.
- [6] *Хорошев А. В.* О способе выделения парциальных геосистем на основе анализа межкомпонентных связей в ландшафте / Изв. РГО. 2012. Т. 144, вып. 2. С. 19—28.
- [7] *Chang C.-R., Lee P.-F., Bai M.-L., Lin T.-T.* Identifying the scale thresholds for field-data extrapolation via spatial analysis of landscape gradients / *Ecosystems*. 2006, vol. 9. P. 200—214.
- [8] *Meisel J., Turner M. G.* Scale detection in real and artificial landscapes using semivariance analysis / *Landscape Ecology*. 1998, vol. 13. P. 347—362.
- [9] *Openshaw S.* A geographical solution to scale and aggregation problem in region building, partitioning and spatial modelling // *Institute of British Geographers, Transactions, New Series*. 1977, vol. 2. P. 459—472.
- [10] *Wu J., Hobbs R.* Key issues and research priorities in landscape ecology: An idiosyncratic synthesis // *Landscape Ecology*. 2002, vol. 17. P. 355—365.

Москва  
akhorosh@orc.ru  
eremeeva.a.p.@gmail.com  
merekalova@yandex.ru

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова

Поступило в редакцию  
22 ноября 2012 г.