

## ТЕОРИЯ И МЕТОДОЛОГИЯ

УДК 911.6; 51-7

О.А. Климанова<sup>1</sup>, Д.Н. Козлов<sup>2</sup>ФОРМАЛИЗОВАННЫЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ  
НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ГЕОГРАФИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ

Продемонстрированы возможности применения формализованных подходов для оценки определенности индивидуальных районов, выделенных на основе методики мягкого районирования. В качестве объекта исследования и проверки на предмет определенности выбрана схема геоэкологического районирования Африки, выполненная в результате комплексного многокритериального анализа с использованием жестких и “плавающих” признаков. Операционно-территориальные единицы исследования — ячейки, элементы регулярной сетки размером  $0,5 \times 0,5^\circ$ , для них на основе тематических баз данных определены характеристики различных показателей в номинальной и интервальной шкалах. Район представляется как территориальная совокупность смежных ячеек, обладающих сходными значениями признаков районирования. Рассмотрены три типовые ситуации пересечения в математическом пространстве признаков множеств ячеек, образующих районы, соответствующие высокой, средней и низкой неопределенности районирования. Полученные результаты объясняются с позиций индивидуальных особенностей районов, обсуждены ограничения примененных для их анализа математических методов. Определены переменные (признаки) районирования, внесшие наибольший вклад в разделение на районы. Показаны возможности применения указанных методов для локализации ядер типичности и периферийных частей районов.

*Ключевые слова:* районирование, математический анализ, неопределенность, операционно-территориальные единицы.

**Введение.** В отечественной географической традиции районирование считается важнейшей составляющей территориальных исследований [Саушкин, 2001] и даже ее характерной особенностью [Смирнягин, 2005]. Как результат последовательного анализа и синтеза эмпирической информации о территории, оно полностью воплощает комплексный географический подход к ее изучению и имеет как общетеоретическое, так и прикладное значение. Вместе с тем не теряют актуальности теоретические и методические проблемы районирования, неоднократно затрагивавшиеся в работах, вышедших в 1970-е гг. прошлого века. К их числу относятся, например, вопросы объективности (целостности) регионов [Арманд, 1975], дискретности/континуальности их границ, значимости признаков, положенных в основу выделения [Ретеюм, 1975]. Широкое распространение геопространственных данных придает развитию регионального концепта новый импульс и предоставляет новые возможности для осмысления понятия региона. Это касается как использования данных и результатов эмпирических исследований, так и совершенствования методических принципов районирования. Наличие информации в цифровом формате и адаптивных средств

ее математического анализа позволяет не только изучать региональные различия на территориях любой размерности, но и создает новые возможности для верификации результатов исследований, в том числе построенных на экспертных оценках. Последнее дает возможность на формальной основе подойти к рассмотрению обоснованности экспертного районирования, выполненного на основе плавающих признаков — наиболее уязвимого с точки зрения классификационной логики. В связи с этим цель статьи — продемонстрировать возможности применения формализованных подходов для оценки определенности индивидуальных районов, выделенных на основе методики мягкого районирования.

**Материалы и методы исследований.** Известно, что при выделении районов основное внимание исследователя концентрируется на поиске различий между ними [Тикунов, 1994; Claval, 2006]. Именно различия определяют индивидуальные особенности данного района по сравнению с аналогичными. С формальной точки зрения индивидуальность района может быть описана через совокупность количественных показателей, значения которых для каждого района отличаются от наблюдаемых в других районах [Eetvelde, Anthrop, 2009; Scheinberg,

<sup>1</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра физической географии мира и геоэкологии, доцент, канд. геогр. н.; e-mail: oxkl@yandex.ru

<sup>2</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра физической географии и ландшафтоведения, доцент, канд. геогр. н.; e-mail: daniilkozlov@gmail.com

2006], однако по мере нарастания числа показателей эти различия становятся все менее выраженными. В связи с этим одна из дополнительных задач, решаемых в ходе районирования, — поиск сбалансированной по количеству и содержанию совокупности показателей, которые могли бы адекватно отражать специфику каждого района.

Единой теории районирования в географии пока не создано [Шувалов, 2013], хотя методологические проблемы, характерные для районирования в целом, неоднократно рассматривались в ряде теоретических публикаций [Родоман, 1999; Каганский, 2003; Исаченко, 2004; Смирнягин, 2005]. Различия в подходах к выделению интегральных районов в физической и социально-экономической географии достаточно определены. Так, физико-географические районы состоят из иерархически соподчиненных природных комплексов разных размеров [Михайлов, 1985]; их единство сформировано за счет причинно-следственных связей [Исаченко, 2004]. В социально-экономической географии на этапе индустриализации районы выделяли преимущественно как экономические районы, однако в последней трети XX в. на роль интегральных стали претендовать социальные или общественные районы [Шувалов, 2013]. Однако районирование во многом остается экспертной процедурой и содержит элемент субъективности. Особенно это касается случаев исследовательского районирования, когда оно осуществляется не под какую-то прикладную задачу, а представляет собой инструмент познания территориальной неоднородности. Существенная роль эксперта в процедуре географического районирования обусловлена принципиальной нечеткостью картографического отображения географических объектов и их границ [Тикунов, 1997].

Результат районирования в значительной степени зависит не только от его целей, но и от того, какие операционно-территориальные единицы (ОТЕ) [Дьяконов, 1975; Куприянова, 1975] — ландшафты, территориально-производственные комплексы, ячейки регулярной сетки — объединяются в ходе районирования. Появление геоинформационных систем способствовало значительному расширению возможностей применения в районировании параметрического подхода [Eetvelde, Anthrop, 2009]. В ка-

честве начального этапа исследования он был известен и с успехом применялся еще в первых работах по географическому районированию в конце XIX — начале XX в. При использовании геоинформационных систем для ландшафтного районирования его суть в самом общем смысле состоит в последовательном наложении серии тематических карт, образующих композитное изображение, где средствами пространственного анализа выделяются участки, которые можно классифицировать как комплексы, обладающие относительной однородностью. Пространственные ландшафтные мозаики, образованные разными типами комплексов, определяют уникальность территории и составляют основу выделения (делимитации) района [Fairclough, Macinnes, 2003; Eetvelde, Anthrop, 2009]. Взаимосвязь ландшафтных комплексов формирует не только морфологию, но и содержание района, из которого вытекает его целостность.

В отличие от традиционного ручного районирования, которое чаще всего имело дело с ареалами, отражающими локализацию природных комплексов, цифровое картографирование, оперирующее растровыми изображениями, качественно меняет принцип районирования. В этом случае операционно-территориальными единицами становятся элементы регулярной сетки с фиксированным шагом ( $1 \times 1^\circ$ ,  $0,5 \times 0,5^\circ$ ,  $10 \times 10$  км). Для каждого элемента (пикселя, ячейки) территории исследования на основе тематических баз данных могут быть определены характеристики различных показателей в номинальной и интервальной шкалах. В таком случае район можно представить как территориальную совокупность смежных ячеек, обладающих сходными значениями признаков районирования.

В математическом пространстве признаков районирования множества, которые образованы смежными ячейками, входящими в состав района, могут: а) не иметь пересечений, б) пересекаться, в) практически полностью совпадать (рис. 1).

Характер пересечения множеств позволяет оценить степень индивидуальности выделенных районов. Так, в первом случае множества ячеек первого и второго районов не пересекаются, поэтому с достаточной долей уверенности можно утверждать, что выделенные районы обладают высокой сте-

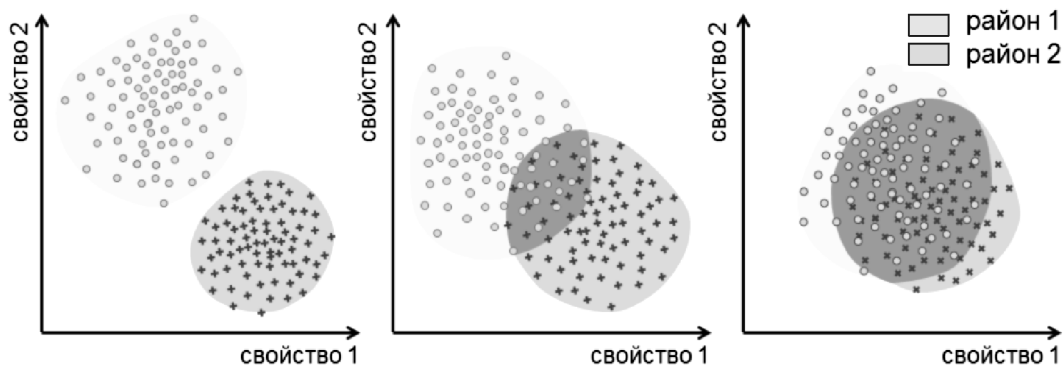


Рис. 1. Свойства районов в пространстве признаков районирования

пенью индивидуальности. Во втором случае часть ячеек, входящих в состав одного района, обладает сходными свойствами с частью ячеек другого района, что позволяет предположить, например, что ядра (центры) обоих районов выделены правильно, а их периферия обладает сходными свойствами. В третьем случае выделенные районы обладают малой степенью индивидуальности, так как их свойства в пространстве признаков очень близки. Однако подобная принципиальная схема может быть справедлива и для типологии районов по совокупности признаков. Для разделения территории на районы необходимо объединение территориальных единиц [Исаченко, 1991; Тикунов, 1994]. В предложенной схеме признаками смежности могут быть: 1) расстояние ячейки от географического центра района (для изоморфных ареалов), 2) расстояние до границы, 3) число ячеек разных районов в окрестности обособленного размера.

В случае наличия уже выполненной схемы районирования каждой ячейке наряду с другими признаками можно придать характеристику принадлежности к тому или иному району и оценить неопределенность выполненного районирования. Под регионом с высокой степенью неопределенности можно понимать: 1) регион, не обладающий

собственной самостоятельностью (целостностью), 2) регион, имеющий широкую зону перехода с соседними.

Не касаясь вопросов автоматического районирования, продемонстрируем подход к формальной оценке неопределенности экспертного районирования на примере результатов комплексного геоэкологического районирования Африки [Климанова, 2014] (рис. 2).

Выделение геоэкологических районов проводилось по результатам комплексного многокритериального анализа с использованием жестких и “плавающих” признаков. Геоэкологические районы 1-го порядка (макрорегионы) выделялись на основе общности геоструктурного плана и макрорельефа территории, сходства макроклиматических условий (географический пояс и сектор), своеобразия зональной структуры, а также особенностей бассейновой дифференциации. Затем на основе общности истории цивилизационного освоения, этнолингвистического состава территории и типа хозяйственного освоения они разделены на геоэкологические районы 2-го порядка. Таким образом, в ходе районирования выделено 10 геоэкологических районов 1-го порядка и 45 геоэкологических районов 2-го порядка.

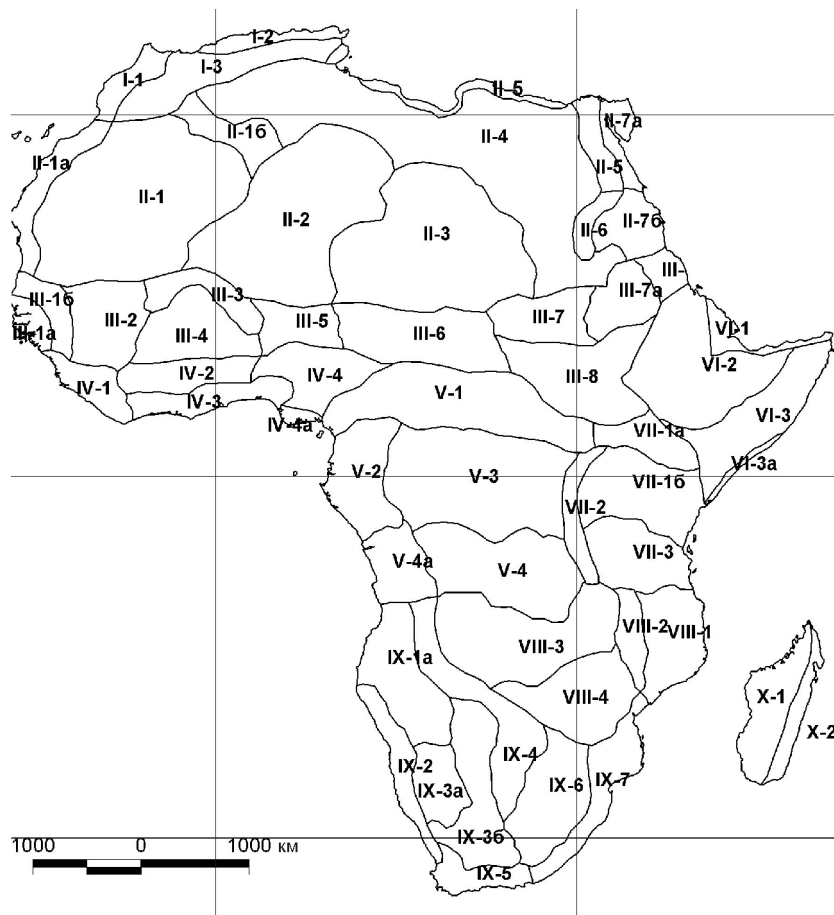


Рис. 2. Геоэкологическое районирование Африки (по [Климанова, 2014] с изменениями). Римские цифры — геоэкологические районы 1-го порядка: I — Магриб, II — Пустынный пояс, III — Судано-Сахельский коридор, IV — леса и лесосаванны Гвинейского побережья, V — Лесное Конго, VI — Эфиопское нагорье, VII — Высокие плоскогорья Восточной Африки, VIII — Юго-Восточная Африка, IX — Южная Африка, X — Мадагаскар

Таблица 1

Источники растровых данных, использованные при анализе

Наименование	Шкала признаков	Размер ячейки	Источник
Высотные ступени	Относительная	0,5°	[United States Geological Survey, 1996]
Индекс аридности	Интервальная	0,166667×0,166667	[Food and Agricultural Organization, 2014]
Типы земельного покрова и землепользования	Номинальная	0,008928×0,008928	[Global Land Cover, 2000, 2003]
Плотность населения	Относительная	0,041666×0,041666	[Center for International Earth Science Information Network, 2003]
Антропогенные биомы	Номинальная	5 угл. минут	[Ellis, Ramankutty, 2008]

Для оценки неопределенности результатов районирования мы использовали слои растровых данных, доступные на картографическом портале FAO-GeoNetwork [Food..., 2014], данные цифрового моделирования GTOPO 30 [United..., 1996], данные CIESIN [Center..., 2003] (табл. 1). Все пространственные данные были преобразованы к сетке с размером ячейки 0,5×0,5°. Затем для каждой ячейки получены показатели средней плотности населения, абсолютной высоты, первичной продуктивности и индекса аридности. Для учета вклада городского населения для каждого пикселя введен показатель стандартного отклонения от средней плотности населения. Для признаков в номинальной шкале свойство каждой ячейки задавалось как принадлежность к наиболее характерным с точки зрения геоэкологического районирования категориям земельного покрова и антропогенных биомов. Эти показатели характеризуют антропогенное воздействие в разных аспектах, например принадлежность к категории земельного покрова отражает современное землепользование и характер растительности, принадлежность к антропогенным биомам — степень

и характер освоенности территории [Ellis, Ramankutty, 2008].

В общей сложности для характеристики ячеек использовано 16 признаков. Региональная принадлежность ячеек определялась их положением внутри ареала геоэкологического районирования. Дальнейший анализ заключался в вычислении вероятности принадлежности каждой ячейки априорному району по всей совокупности признаков средствами дискриминантного анализа [Пузаченко, 2004; Козлов и др., 2008]. Общая схема исследования представлена на рис. 3.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Применение средств дискриминантного анализа позволило получить следующие результаты: 1) для всей территории Африки — долю ячеек, однозначно отнесенных к своему району, 2) для каждого геоэкологического района — долю ячеек, однозначно отнесенных к этому району, 3) для каждой ячейки — наиболее вероятный район.

Для наглядности предложенного подхода рассмотрены 9 геоэкологических районов 1-го порядка (за исключением Мадагаскара). В табл. 2 показана

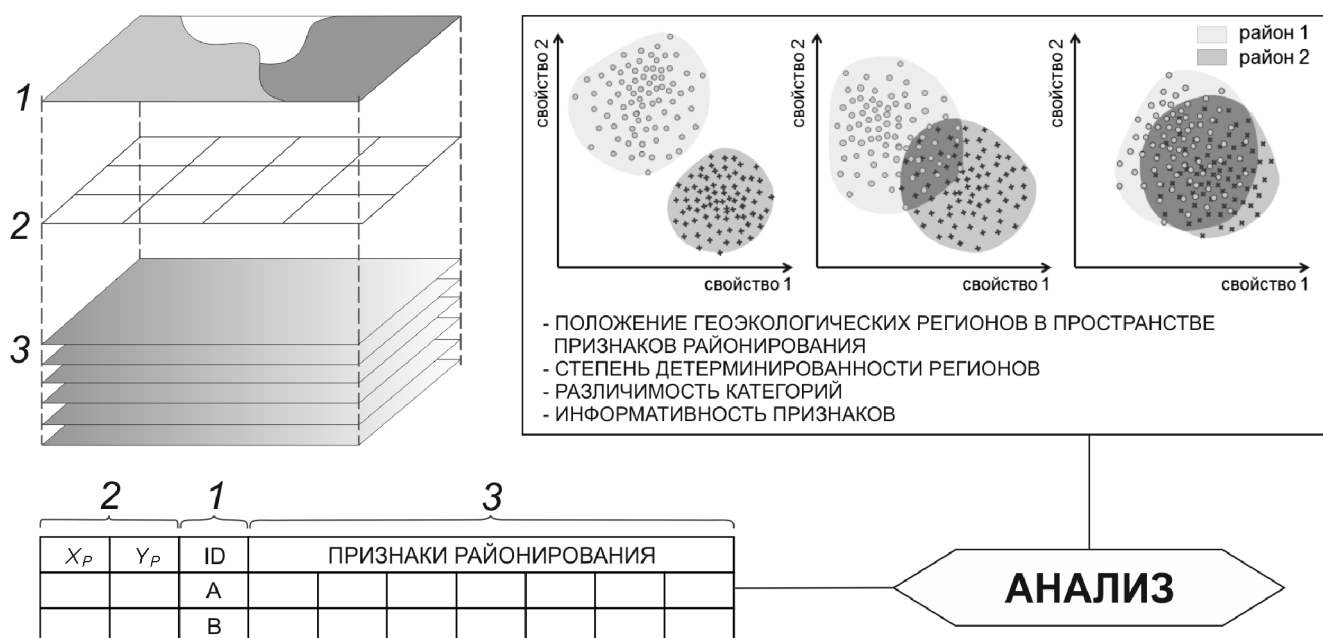


Рис. 3. Общая схема исследований

Таблица 2

Степень изолированности районов в пространстве рассмотренных признаков

Район*	Точность, %	Предсказанное для каждого района число ячеек								
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
I	30,9	344	114	172	12	0	11.0	20	0	442
II	90,4	336	11900	562	0	0	3.0	11	0	350
III	69,5	158	429	3852	94	42	2.0	42	544	382
IV	50,4	1	1	639	895	97	6.0	58	79	0
V	70,1	0	0	73	101	3998	9.0	0	1519	4
VI	16,7	0	276	712	3	15	406.0	179	190	646
VII	39,1	114	7	282	67	27	7.0	824	510	272
VIII	69,1	4	3	267	8	14	2.0	176	2140	481
IX	68,1	0	237	527	0	11	114.0	0	653	3290
Всего	69,5	957	12967	7086	1180	4204	560.0	1310	5635	5867

\* Номера районов соответствуют нумерации районов на рис. 2.

степень изолированности каждого района в совокупном пространстве признаков.

Общая определенность районирования составляет 70% (именно столько ячеек на районированной территории однозначно относится к одному из райо-

нов). Районы с самой высокой степенью определенности районирования (>70%) — Пустынный пояс (II) и Лесное Конго (V). Наименее определенный район — Эфиопское нагорье (VI). Как видно из данных табл. 2, в пространстве признаков он

Таблица 3

Оценка вклада переменных в разделение территории на геоэкологические районы

Переменная	Содержание	Критерий Фишера, F
gtopo_qd	Абсолютная высота территории и уклон местности	2016
pop_avg	Среднее значение плотности населения	1535
aridity_qd	Индекс аридности	1314
npp_qd	Первичная продуктивность	1285
pop_StDev	Стандартное отклонение от средней плотности населения	790
Принадлежность к типу антропогенного биома		
a_40_44	Пастбища	2161
a_31_35	Пахотные земли	920
a_51_52	Леса	619
a_21_26	Селитебные земли	297
a_11_12	Территории с высокой плотностью населения, в том числе городские земли	17
Принадлежность к типу земельного покрова		
lcv_7	Мозаика лесов и сельскохозяйственных земель	795
lcv_1	Сомкнутые вечнозеленые леса	677
lcv_8	Мозаика лесов и саванн	566
lcv_15	Злаковые полупустыни	236
lcv_24	Каменистые россыпи	102

пересекается с районами III (Судано-Сахельский коридор) и IX (Южная Африка). Магриб (I) также имеет много пересечений с этими районами, а также с Пустынным поясом (II). У района VII (Высокие плоскогорья Восточной Африки) много общих признаков с районами VIII, IX и III. Район IV (Леса и лесосаванны Гвинейского побережья) пересекается в пространстве признаков с районом III. Три оставшихся района с достаточно высокой определенностью районирования (68–69%) — Судано-Сахельский коридор (III), Юго-Восточная Африка (VIII), Южная Африка (IX) — в пространстве признаков пересекаются между собой.

Для каждой ячейки определена степень неопределенности ее отнесения к “своему” району (рис. 4). Чем светлее ячейка на рисунке, тем выше степень определенности. Максимальные значения определенности характерны для ячеек в центральной части Лесного Конго, южной части района Лесов и лесосаванн Гвинейского побережья, а также большей части ячеек Пустынного пояса. Наименьшая определенность (самый темный цвет) отмечена на периферии районов Эфиопское нагорье, Судано-Сахельский коридор и Юго-Западная Африка. Таким образом, на территории каждого района есть ареалы с высокой степенью определенности — “ядро района” и “периферия”. Хуже всего ядро выражено в Эфиопском нагорье и Судано-Сахельском коридоре.

Самостоятельный результат анализа — значимость каждого признака при разделении районов

(табл. 3). Из данных табл. 3 видно, что максимальный вклад в разделение районов вносит переменная  $a_{40\_44}$ , характеризующая принадлежность ячейки к антропогенному биому пастбищных земель. Немногим ниже вклад в разделение районов вносит морфолитогенная основа ( $gtopo\_qd$ ), который превышает вклад средней по району плотности населения ( $pop\_avg$ ). Примерно одинаковы вклады в разделение районов у индекса аридности и первичной продуктивности, минимален у отнесения ячеек к категориям “каменистые россыпи” и “городские земли”. Это может быть связано как с зональным характером распределения ландшафтов, так и с преобладанием натурального хозяйства на большей части Африки [Africa..., 2002].

Лучше всего выделяются районы, свойства которых радикально отличаются от остальных, — пустынные районы Сахары и влажные леса впадины Конго. Пустынный пояс Сахары большей частью равнинный, аридный, малоиспользуемый, он сильно отличается от остальной территории Африки. При этом, как видно на рис. 4, в его пределах отчетливо выделяются области, свойства которых отличаются от свойств большинства ячеек района. К таким областям относятся складчато-блоковые нагорья в центре и на южной периферии (особенности их рельефа схожи с таковыми в районе Высоких плоскогорий Восточной Африки), оазис долины Нила и переходные полосы на юге и севере (схожи по аридности и типам земельного покрова

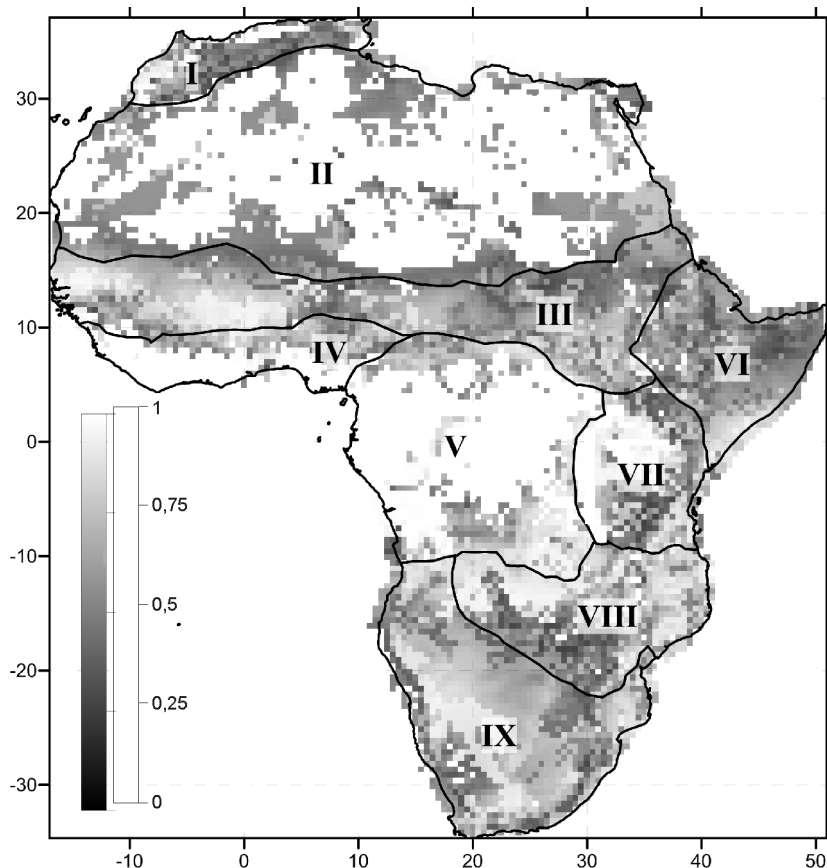


Рис. 4. Степень неопределенности отнесения ячеек к геоэкологическим районам

с районами Магриба и Судано-Сахельского коридора, а также Южной Африки). Район Лесного Конго определен с меньшей степенью определенности, чем Сахара, причем наиболее четко выделяется его центральная часть, занятая влажными экваториальными лесами. На юго-востоке, в зоне листопадных лесов на водоразделе Конго—Замбези, ячейки по свойствам совпадают со смежным регионом Юго-Восточной Африки.

Регионы со средней неопределенностью районирования — Судано-Сахельский коридор, Юго-Восточная Африка и Южная Африка. Они близки между собой по свойствам, что объясняет высокий процент ячеек, совпадающих в пространстве признаков, — семиаридные, саванново-редколесные, плоскогорные, с экстенсивным ведением хозяйства, преимущественным развитием пастбищного животноводства.

В группу с высокой неопределенностью попали горные и плоскогорные регионы — Магриб, Эфиопское нагорье и Высокие плоскогорья Восточной Африки. Это можно объяснить тем, что показателей рельефа (абсолютная высота и уклон местности), которые учитывались в качестве признаков районирования, явно недостаточно для определения индивидуальности указанных регионов. Их средние абсолютные высоты характерны и для других регионов Африки, поэтому в качестве дополнительных признаков районирования следует выбирать, например, характер горных пород и генезис отложений. Указанное может быть дополнительным подтверждением того, что зональные факторы дифференциации ландшафтов играют в Африке очень большую роль, превосходя выбранные факторы морфоструктурной дифференциации. Кроме того, возможно, были выбраны критерии, не позволяющие определить индивидуальность района, или же районы выделены необоснованно подробно для такого пространства признаков.

Применение описанных формализованных подходов позволило количественно подтвердить определенность районирования. Полученный показатель — 70% — позволяет считать, что районирование выполнено с высокой долей достоверности. То что результат не равен 100%, можно объяснить тем, что при исследовании не учитывались характеристики смежности ячеек в составе района. Сходство других характеристик ячеек в ряде районов не позволило разделить их только на основе общей совокупности признаков районирования. Иными словами, ячейки с размером  $0,5 \times 0,5^\circ$  на 30% территории Африки не обладают индивидуальностью, которая может быть определена на основе данной совокупности признаков. Это подтверждает гипотезу о значимости масштаба исследования для результата районирования на разных территориальных уровнях [Gibson et al., 2000]. Так, при реализации описанного алгоритма оценки неопределенности необходимо обращать внимание на следующее: 1) шаг сетки — размер каждой ячейки на местности —

определяется исходя из гетерогенности территории и подробности исходных данных; 2) совокупность признаков должна адекватно отражать особенности территории, в том числе ее значимые индивидуальные свойства; 3) способ определения области пересечения районов в пространстве признаков — меры неопределенности районирования.

Реализованный подход дает дополнительные возможности для определения ядер типичности и периферийных частей территории, обладающих общими признаками со сходными районами. Эти результаты способствуют поиску “слабых мест” в границах районов и указывают на дальнейшие направления совершенствования методов районирования.

Оценка достоверности районирования зависит от способа описания положения каждого района в пространстве признаков. При параметрической основе статистического дискриминантного анализа допускается, что каждый район определяется как ареал эллиптической формы, в то время как его реальная конфигурация может отличаться. Исключить подобные ограничения позволяют адаптивные средства математического анализа, например метод поддерживающих векторов [Scheinberg, 2006].

Наконец, без учета смежности ячеек предложенная реализация тождественна типизации, а не районированию. Например, получена высокая неопределенность в районировании саванн Эфиопии и Южной Африки. При добавлении признаков смежности (например, удаление от географического центра района) неопределенность их районирования стремится к нулю. Вообще, при реализации предложенного подхода без признаков смежности оценивается неопределенность выделения регионов как целостных единиц, а при учете признаков смежности — неопределенность границ между ними.

#### **Выводы:**

— предложенный и апробированный формализованный подход к оценке достоверности географического районирования состоит из трех последовательных этапов: 1) использование в качестве операционных территориальных единиц элементов регулярной сетки, шаг которой определяется исходя из гетерогенности территории и набора исходных данных, для макрорегионального — материкового — уровня выбранный размер ячейки ( $0,5 \times 0,5^\circ$ ) оказался достаточным; 2) получение унифицированным способом набора признаков, репрезентативных для целей районирования; 3) оценка степени пересечения пикселей в пространстве признаков;

— применение описанных формализованных подходов к оценке экспертного районирования позволило определить общую определенность геоэкологического районирования Африки, которая составила 70%. В то же время определенность выделенных районов неодинакова. Районы с самой высокой степенью определенности районирования — Пустынный пояс и Лесное Конго (более

70%), наименее определенный район — Эфиопское нагорье (16,7%). Остальные районы определены со степенью вероятности 30–68%;

— определенная значимость переменных в разделении районов соответствует особенностям природы и характера землепользования на материке. Наибольшая значимость абсолютной высоты территории и плотности населения подчеркивает контрастность природных условий материка — разделение на Низкую и Высокую Африку, а также безлюдность Сахары и южных аридных районов. Другие переменные, характеризующие земельный покров и использование территории (антропогенные биомы), обладают гораздо меньшей значимостью;

— примененные формализованные методы оценки неопределенности обладают рядом недостатков. Так, имеющийся математический аппарат позволяет проводить оценку достоверности, но ее узким местом остается полнота набора исходных данных, определяющих использование переменных для разделения районов. Например, отсутствие адекват-

ных источников информации не позволило использовать в качестве признака районирования чрезвычайно важный для Африки этнический состав населения, часто определяющий характер землепользования и хозяйственно-культурный тип, в будущем это может быть устранено с появлением репрезентативного цифрового источника данных;

— выявленная неопределенность районирования, с одной стороны, связана с неполнотой и генерализованностью использованных признаков, а с другой — с природной нечеткостью объектов районирования. Даже при использовании формализованных процедур на основе количественных показателей роль эксперта сохраняется и сводится к отбору и упорядочиванию целевых признаков и обоснованию алгоритма автоматизированной территориальной дифференциации. И, наконец, проверка схемы районирования при помощи формализованных методов выступает необходимым предварительным шагом для развития методов автоматизации районирования на основе совокупности признаков.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

### REFERENCES

*Арманд Д.Л.* Наука о ландшафте: Основы теории и логико-математические методы. М.: Мысль, 1975. 288 с.

Armand D.L. Nauka o landshafte: Osnovy teorii y logiko-matematicheskiye metody [Landscape science: Theory and mathematic methods], M., Mysl, 1975, 288 p. (in Russian).

*Дьяконов К.Н.* Методологические проблемы изучения физико-географической дифференциации // Вопросы географии. Вып. 98. Количественные методы изучения природы. М.: Мысль, 1975.

Dyakonov K.N. Metodologicheskiye problemy izucheniya fiziko-geograficheskoy differentsiatsii [Methodological approaches to investigation of physical geographical differentiation] // Voprosy geografii. V. 98. Kolichestvenniye metody izucheniya prirody, M., Mysl, 1975 (in Russian).

*Исаченко А.Г.* Ландшафтоведение и физико-географическое районирование: Учебник. М.: Высш. школа, 1991.

Isachenko A.G. Landshaftovedeniye y fiziko-geograficheskoye rayonirovaniye [Landscape science and physiographical regionalization], Uchebnik, M., Vyshaya shkola, 1991 (in Russian).

*Исаченко А.Г.* Теория и методология географической науки. М.: Академия, 2004. 400 с.

Isachenko A.G. Teoriya y metodologiya geograficheskoy nauki [Theory and methodology of geography], M., Akademiya, 2004, 400 p. (in Russian).

*Каганский В.Л.* Основные практики и парадигмы районирования // Региональные исследования. 2003. № 2. С. 16–30.

Kaganskiy V.L. Osnovniye praktiki i paragimny rayonirovaniya [main approaches and paradigms of delimitation of regions], Regionalnye issledovaniya, 2003, no 2, pp. 16–30 (in Russian).

*Климанова О.А.* Геоэкологическое страноведение: Природные и антропогенные факторы формирования регионов. М.: Ленанд, 2014. 304 с.

Klimanova O.A. Geoecologicheskoye stranovedeniye: prirodniye y antropogenniye factory formorovaniya regionov

[Environmental regional studies: natural and anthropogenic factors of regionalization], M., Lenand, 2014, 304 p. (in Russian).

*Козлов Д.Н., Пузаченко М.Ю., Федяева М.В., Пузаченко Ю.Г.* Отображение пространственного варьирования свойств ландшафтного покрова на основе дистанционной информации и цифровой модели рельефа // Изв. РАН. Сер. геогр. 2008. № 4. С. 112–124.

Kozlov D.N., Puzachenko M.Yu., Fedyaeva M.V., Puzachenko Yu.G. Otobrazheniye prostranstvennogo varyirovaniya svoistv landshaftnogo pokrova na osnove distantsionnoy informatsii I cifrovoy modeli reliefa [Visualization of spatial variety of land cover properties on the base of remote sensing information and digital elevation model], Izvestiya Rossiyskoy Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya, 2008, no 4, pp. 112–124 (in Russian).

*Куприянова Т.П.* Физико-географическое районирование по принципам однородности территории // Вопросы географии. Вып. 98. Количественные методы изучения природы. М.: Мысль, 1975.

Kupriyanova T.P. Fisiko-geograficheskoye rayonirovaniye po printsipam odnorodnosti territorii [Delimitation of physiographic regions by principles of homogeneity of the territory], Voprosy geografii, V. 98, Kolichestvenniye metody izucheniya prirody, M., Mysl, 1975 (in Russian).

*Михайлов Н.И.* Физико-географическое районирование. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1985. 184 с.

Mikhailov N.I. Fisiko-geograficheskoye rayonirovaniye [Delimitation of physiographic regions], M., Izdatelstvo Moskovskogo Universiteta, 1985, 184 p. (in Russian).

*Пузаченко Ю.Г.* Математические методы в экологических и географических исследованиях. М.: Академия, 2004. 416 с.

Puzachenko Yu.G. Matematicheskiye metody v ekologicheskikh I geograficheskikh issledovaniyakh [Mathematic methods in ecology and geography], M., Akademiya, 2004, 416 p. (in Russian).



Ретеюм А.Ю. Физико-географическое районирование для выделения геосистем // Вопросы географии. Вып. 98: Количественные методы изучения природы. М.: Мысль, 1975.

Reteyum A.Yu. Fisiko-geograficheskoye rayonirovaniye dlya vydeleniya geosistem [Physiographic regionalization for delimitation of geosystems], Voprosy geografii, V. 98, Kolichestvenniye metody izucheniya prirody, M., Mysl, 1975 (in Russian).

Родоман Б.Б. Территориальные ареалы и сети. Смоленск: Ойкумена, 1999. 256 с.

Rodoman B.B. Territorialniye arealy i seti [Territorial areal and networks], Smolensk, Oykumena, 1999, 256 p. (in Russian).

Саушкин Ю.Г. Избр. Тр. Смоленск: Универсум, 2001. 416 с.

Saushkin Yu.G. Izbrannye Trudy [Selected papers], Smolensk, Universum, 2001, 416 p. (in Russian).

Смирнягин Л.В. Узловые вопросы районирования // Изв. РАН. Сер. геогр. 2005. № 1. С. 5–16.

Smirnyagin L.V. Uzloviye voprosy rayonirovaniya [Nodal questions of regionalization], Izvestiya Rossiyskoy Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya, 2005, no 1, pp. 5–16 (in Russian).

Тикун В.С. Проявление нечеткости знаний в процессе моделирования географических систем // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 1994. № 2. С. 9–16.

Tikunov V.S. Proyavleniye nechetkosti znaniy v processe modelirovaniya geograficheskikh sistem [Uncertainty of knowledge in modeling of geographical systems], Vestnik Moskovskogo Universiteta, seria 5, Geografiya, 1994, no 2, pp. 9–16 (in Russian).

Тикун В.С. Классификации в географии: ренессанс или увядание? (Опыт формальных классификаций). М.; Смоленск: Изд-во СГУ, 1997. 367 с.

Tikunov V.S. Klassifikatsii v geografii: renessans ili uvaydaniye? (Opyt formalnykh klassifikatsiy) [Classification in geography: Renaissance or decay? (Experience of formal classification)], Moscow, Smolensk, Izdatelstvo SGU, 1997, 367 p.

Шувалов В.Е. Районирование // Социально-экономическая география: понятия и термины. Смоленск: Ойкумена, 2013. С. 202.

Shuvalov V.E. Rayonirovaniye [Delimitation of regions], Socialno-ekonomicheskaya geografiya: ponyatiya i terminy, Smolensk, Oykumena, 2013, pp. 202 (in Russian).

Africa environment outlook: Past, present and future perspectives. 2002. URL: <http://www.grida.no/publications> (Accessed: 24.11.2014).

Claval P. Géographie régionale. De la région au territoire. P., Armand Colin, 2006.

Eetvelde V., Anthrop M. A stepwise multi-scaled landscape typology and characterisation for trans-regional integration, applied on the federal state of Belgium // Landscape and Urban Planning. 2009. Vol. 91, Iss. 3. P. 160–170.

Ellis E.C., Ramankutty N. Putting people in the map: anthropogenic biomes of the world // Frontiers in Ecology and the Environment. 2008. doi:10.1890/070062. 289.

Fairclough G., Macinnes L. Landscape character assessment // Guidance for England and Scotland. Top. Pap. 5. Understanding Historic Landscape Character. 2003. The Countryside Agency, Scottish Natural Heritage. URL: [http://www.ccnetwork.org.uk/lca\\_topic\\_5.htm](http://www.ccnetwork.org.uk/lca_topic_5.htm) (Accessed: 24.11.2014).

Gibson C.C., Ostrom E., Ahn T.K. The concept of scale and the human dimensions of global change: a survey // Ecol. Econ. 2000. Vol. 32. P. 217–239.

Scheinberg K. An efficient implementation of an active set method for svms // J. Mach. Learn. Res. 2006. Vol. 7. P. 2237–2257.

Swanwick C. Landscape character assessment // Guidance for England and Scotland. The Countryside Agency, Scottish Natural Heritage, 2002.

Center for International Earth science information network (CIESIN), International food policy research institute (IFPRI) and World resources nstitute (WRI). 2003. Gridded Population of the World (GPW). Ver. 3 [online data]. Palisades, NY: CIESIN. Columbia University. URL: <http://sedac.ciesin.columbia.edu/data/collection/gpw-v3> (Accessed: 24.11.2014).

Food and Agricultural Organization, GEONETWORK, Collection datasets. 2014. URL: <http://www.fao.org/geonetwork/srv/en/main.home>. (Accessed: 24.11.2014).

Global Land Cover 2000 database. European Commission, Joint Research Centre, 2003. URL: <http://bioval.jrc.ec.europa.eu/products/glc2000/glc2000.php> (Accessed: 24.11.2014).

United States Geological Survey. GTOPO Digital Elevation Model. 1996. URL: <https://lta.cr.usgs.gov/GTOPO30> (Accessed: 24.11.2014).

Поступила в редакцию  
22.01.2015

O.A. Klimanova, D.N. Kozlov

## FORMAL APPROACHES TO THE EVALUATION OF NON-UNIQUENESS OF THE DELIMITATION OF GEOGRAPHICAL REGIONS

Possible application of formal approaches for the evaluation of certainty of particular regions which are the result of flexible delimitation procedures is demonstrated. The scheme of the geoecological regions of Africa compiled through the complex multi-criteria analysis with both definite and flexible indicators was the object of study and certainty control. Regular grid cells of 0,5° 0,5° are the operational territorial units of study which are described by various parameters (in nominal or interval scales) from available thematic databases. A region is a territorial combination of adjacent grid cells characterized by similar values of region delimitation criteria. Three typical situations of the mathematical intersection of indicators for cell combinations (regions) are discussed which correspond to high, medium and low non-uniqueness of region delimitation. The results are interpreted in terms of the individual features of the regions; limitations of mathematical methods applied for their analysis are discussed. The most significant variables (criteria of the delimitation of regions) are determined. Possible application of the above-discussed methods for localization of the typical cores and peripheral parts of regions is described.

*Key words:* delimitation of regions, mathematical analysis, non-uniqueness, operational territorial units.