

РАЗНООБРАЗИЕ ПОЧВ НА ПОЧВЕННЫХ КАРТАХ РАЙОННОГО УРОВНЯ

© 2019 г. В. П. Самсонова¹ *, Д. Г. Кротов², В. А. Воронин²¹МГУ им. М.В. Ломоносова, Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, 1²Брянский государственный аграрный университет, Россия, 243365, Брянская обл., Выгоничский р-н, с. Кокино

*e-mail: vkbun@mail.ru

Поступила в редакцию 26.12.2017 г.

После доработки 24.10.2018 г.

Принята к публикации 28.11.2018 г.

Для трех районов Брянской области показано, что ранговые распределения площадей контуров низких таксономических единиц на почвенных картах имеют специфическую форму, которая может быть представлена как склейка нескольких степенных распределений, известных как законы Парето. Форма распределений сохраняется в трех административных районах и в отдельных почвенно-географических районах, на которые они могут быть разделены. Дисперсионный анализ, проведенный с логарифмами данных о размерах контуров, показывает влияние факторов типа почвы, гранулометрического состава, почвообразующей и подстилающей породы на размеры почвенных контуров, однако на ранговых кривых отсутствует выраженная агрегация преимущественных размеров контуров тех или иных классификационных единиц.

Ключевые слова: педоразнообразие, степенные законы, площади почвенных контуров

DOI: 10.1134/S0032180X19060108

ВВЕДЕНИЕ

Почвенный компонент любого ландшафта представляет собой, с одной стороны, непрерывное образование, а с другой — может рассматриваться как совокупность классификационно разных почв на некотором иерархическом уровне. Вследствие этого почвенная карта представляет собой мозаику выделов, в которой рядом расположенные компоненты считаются принципиально различными, хотя практически могут быть очень близки по свойствам. Размеры и формы отдельных выделов на почвенной карте зависят от реальных условий физической среды, для которой строится карта, используемой классификации почв, масштаба карты и способов генерализации контуров, особенностей проведения полевого картографирования и еще от многих причин, среди которых субъективный фактор, а именно, личность картографа, получающего первичную карту, также вносит свой вклад в конечный продукт [12, 22, 23].

Развитие исследований в области разнообразия организмов на разных масштабных уровнях (биоразнообразие) привело в конце XX в. к появлению концепции педоразнообразия [17]. Обсуждение понятий “педопопуляция” и “педоценоз” примерно в это же время можно найти в работе Дмитриева [5]. В последнее время интерес к разнообразию почв возрастает в связи с необходимо-

стью проведения сравнительно-географического анализа разных территорий, исследования эволюции ландшафтов и др. [8, 13, 24].

Педоразнообразие может рассматриваться, по крайней мере, в двух аспектах:

— классификационном, то есть определении числа выделяемых классификационных единиц и их соотношения на разных уровнях классификации (например, числа типов, подтипов и др.) для анализируемой территории. Подчеркнем, что это задача собственно классификации почв, поскольку пространственная распространенность каждой из классификационной единицы не учитывается;

— пространственном (картографическом), при котором учитываются области, занимаемые той или иной почвенной классификационной единицей.

В свою очередь пространственный анализ может сводиться к определению сверток информации в виде различных индексов (Шеннона, Симпсона и др.), позволяющих сравнивать отдельные регионы [8, 12, 16, 24]. При этом возможен как классический подход, когда анализируется изменение числа различающихся в том или ином классификационном смысле объектов с изменением размеров площади, на которой эти объекты учитываются, так и анализ размеров площадей, при-

ходящихся на единицу того или иного классификационного объекта.

Обзор оценок педоразнообразия с точки зрения классификации почв и с точки зрения почвенной картографии сделан Ибанезом с соавт. [20, 21]. Они констатируют, при анализе как классификационного, так и картографического педоразнообразия часто используются степенные законы, где связи между переменными описываются в виде

$$E(r) \approx r^{-a},$$

где r — ранг (номер в упорядоченной по убыванию последовательности), $E(r)$ — некоторые характеристики почвенных контуров или классификационных почвенных единиц, например, число классификационных выделов на определенной площади, площади и периметры почвенных контуров и др., a — параметр. После логарифмирования зависимость приобретает вид

$$\ln(E(r)) \approx a \ln(r).$$

Так, для шести графств (масштаб 1 : 15840 и 1 : 20000) в США наблюдалась устойчивая зависимость $\ln(\text{число почвенных выделов}) - \ln(\text{ранг иерархического уровня классификации})$, где иерархические уровни лежали в диапазоне от порядков до серий (классификация USDA Soil Taxonomy) [19].

Гуо с соавт. [18], используя технику скользящего окна, обнаружили степенные зависимости между площадью и числом почвенных таксономических единиц, присутствующих на этой площади, в почвенном покрове Америки на 6 иерархических уровнях от порядков до почвенных серий.

Ибанез с соавт. [20] обнаружили степенную зависимость между площадями, занимаемыми 45 наиболее распространенными в Европе почвами (45 таксонов первого уровня WRB, масштаб 1 : 1500000), и их рангами для Европы в целом и для ее 9 отдельных областей с коэффициентами детерминации R^2 от 0.54 до 0.81.

Степенные законы часто рассматривают как аргумент в пользу фрактальных моделей биологических объектов [4]. Отметим, что в специальном обзоре [25] приводится множество примеров степенных законов, описывающих ранговые распределения различных предметов и явлений, от динамики финансовых рынков до распределения галактик.

Использование термина “фрактал” в подавляющем числе случаев не предполагает какой-либо конкретный механизм структурирования объектов, а лишь констатирует тот факт, что в некотором диапазоне размерностей шкал существуют инвариантные соотношения.

Цель работы — анализ конкретных почвенных карт на присутствие таких инвариантных соотношений.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Анализировали почвенные карты Брянского, Выгоничского и Трубчевского районов Брянской области масштаба 1 : 50000 в авторской редакции, разработанные в 1981–1983 гг. старшим инженером-почвоведом Брянского филиала института Центргипрозем Е.В. Скачковой. Руководство работами по составлению районных почвенных карт в 1981–1983 гг. осуществлял начальник почвенной партии В.Г. Царев.

Общая площадь — 4940 км². Районные почвенные карты составляли в соответствии с [3, 14]. Бумажные карты были отсканированы и оцифрованы. Привязку карт осуществляли по наземным реперным точкам.

Анализируемая территория расположена на западной окраине отрогов Среднерусской возвышенности. В целом это слабоволнистая равнина с высотными отметками местности над уровнем моря 140–225 м, расчлененная на две части: правобережье и левобережье широкой асимметричной долины р. Десны с ее притоками и большой сетью оврагов–балок. Большая часть территории района (правобережье) расположена на Деснинско-Судостском междуречье и частично в долинах рек Судости и Рожка, занятых ландшафтами ополей и водно-ледниковых равнин. Левобережье занято ландшафтами долин р. Десны и ее притоков, где преобладают песчаные и супесчаные террасы и широкие поймы. По характеру поверхности ополья представляют собой возвышенную слегка волнистую равнину со слабым уклоном к юго-западу в сторону р. Судости с абсолютными высотами 180–225 м. Приречная полоса правобережья р. Десны шириной 5–6 км сильно расчленена разветвленными короткими, но глубокими долинами ручьев, балками, оврагами. Коэффициент расчлененности здесь достигает 4 км/км² [16]. Характерны многочисленные небольшие по размерам межбалочные и межовражные участки — эрозионные останцы. По мере удаления в сторону водораздела расчлененность уменьшается, рельеф выравнивается и становится платообразным. Левобережье Десны — это аллювиально-зандровая равнина с абсолютными высотами 135–160 м, сложенная речными террасами. В пределах района — три террасы. Первая — современная пойма р. Десны. Ширина ее достигает 3–4 км. Поверхность осложнена множеством стариц и вытянутых приусловых валов. Пойма часто закустарена. Первая и вторая надпойменные террасы морфологически четко выражены, сложены древнеаллювиальными песками, боль-

Таблица 1. Характеристики почвенного покрова территории

Параметр	Район		
	Брянский	Выгоничский	Трубчевский
Общая площадь, га	2072	1028	1843
Число классификационных единиц на карте	135	125	94
Число типов почв	10	9	10
Число комплексов	3	9	1
Число контуров	1332	1060	1489

шая часть территории покрыта лесами, относящимися к Гослесфонду.

Характерной особенностью рельефа районов является обилие карстовых и суффозионно-просачочных форм, образование которых связано с близким залеганием к дневной поверхности карстующихся пород (мела, известняков). К таким формам рельефа относятся мелкие западины, понижения, разнообразной формы и различной глубины. Эти западины часто заболочены, иногда заполнены водой.

Почвы классифицировали до разряда (тип—подтип—род—вид—разновидность—разряд) [6]. Преобладают дерново-подзолистые почвы и автоморфные серые лесные почвы, к настоящему времени практически полностью распаханые. Болотно-подзолистые и серые лесные глеевые почвы встречаются в понижениях. В поймах рек Десны и Судости большие площади пойменных почв. В связи с высокой расчлененностью территории большие площади занимают овражно-балочные почвы (здесь и далее авторское название). На карте присутствует небольшое число участков, в которых указано доленое участие почв (табл. 1). В легенде они обозначены как комплексы.

Более подробно исследовали Выгоничский район. Согласно почвенному районированию, на его территории выделено 4 почвенных района [10]:

- 1) район серых и светло-серых лесных почв средне- и легкосуглинистых почв на лёссовидном суглинке;
- 2) район дерново-подзолистых легкосуглинистых, супесчаных и песчаных почв на разных породах с участием болотно-подзолистых почв;
- 3) район дерново-подзолистых супесчаных и песчаных почв на водно-ледниковых и древнелювиальных отложениях;
- 4) район пойменных дерновых, дерново-глеевых и болотных почв.

Обработку картографических материалов проводили в программе ArcGis10.1.

Для характеристики педоразнообразия, помимо графиков $\ln-\ln$ зависимостей, использовали индексы Шеннона H и Симпсона S [9]:

$$H = -\sum_{i=1}^n p_i \ln p_i,$$

$$S = \sum_{i=1}^n p_i^2,$$

в двух вариантах. В первом случае (H_1, S_1) величина p_i представляла собой долю числа контуров определенной классификационной единицы самого низшего ранга от общего числа контуров классификационных единиц этого ранга, а во втором (H_2, S_2) — долю площади в пределах территории, занимаемой контурами этой классификационной единицы. Очевидно, что в первом случае мы имеем полную аналогию с индексом Шеннона и Симпсона для видового разнообразия биологических видов на территории без учета их размеров, во втором случае — разнообразие видов дополняется их пространственными размерами.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Индексы разнообразия. Характеристики педоразнообразия в трех районах различаются. Наибольшее число классификационных единиц выделяется в Брянском районе, а наибольшее число контуров — в Трубчевском районе, Выгоничский район занимает промежуточное положение (табл. 2). Индексы Шеннона, оценивающие многообразие классификационных выделов (H_1), близки, однако наибольшее разнообразие соответствует Выгоничскому району. В Выгоничском районе также максимально разнообразие площадей, занимаемых отдельными контурами, о чем свидетельствует индекс H_2 .

Степень выравненности распределений разнообразия контуров как в классификационном пространстве, так и при размещении классифи-

Таблица 2. Индексы разнообразия почв исследуемых районов

Индекс	Район		
	Брянский	Выгоничский	Трубчевский
Шеннона, H_1	3.500	3.651	3.296
Шеннона, H_2	3.984	4.345	3.715
Симпсона, S_1	0.364	0.349	0.395
Симпсона, S_2	0.316	0.263	0.346

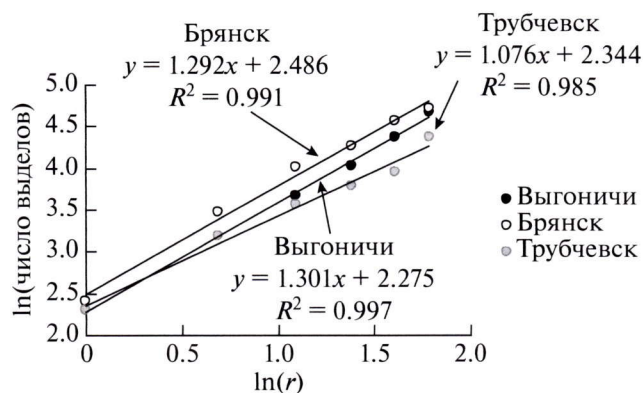


Рис. 1. Зависимости между рангами классификационных уровней и числом классификационных уровней на картах (масштаб 1 : 50000) трех районов Брянской области.

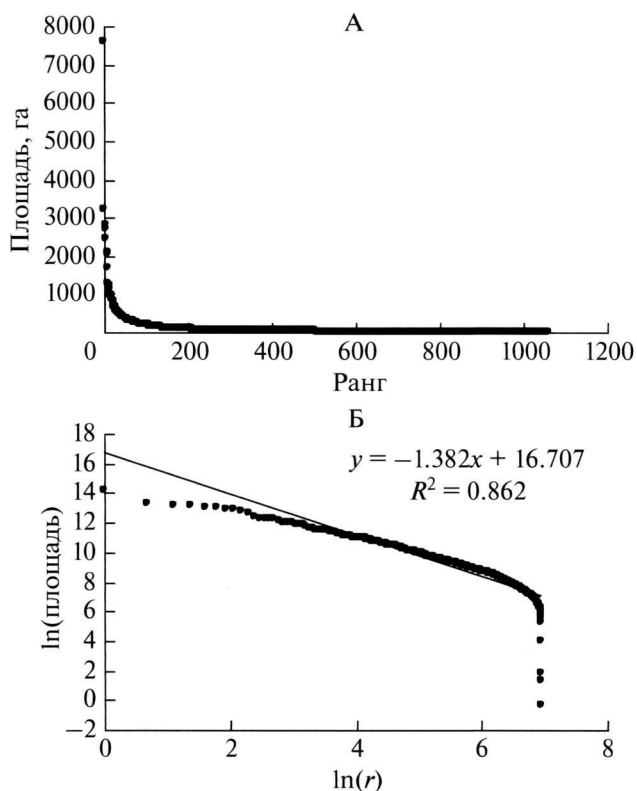


Рис. 2. Кривые рангового распределения площадей Выгоничского района в естественных координатах (А) и в логарифмическом виде (Б).

кационных единиц в физическом пространстве, оцениваемая при помощи индексов S_1 и S_2 соответственно, минимальна в Выгоничском районе.

Во всех районах наблюдается примерно одинаковая сбалансированность числа выделяемых контуров в зависимости от числа классификационных единиц на каждом иерархическом уровне. Зависимости числа выделяемых контуров от иерархического уровня классификации описываются сте-

пенным законом с высокими коэффициентами детерминации (рис. 1).

Распределение размеров контуров в пределах административных районов. Продемонстрируем ранговое распределение площадей контуров почв на примере Выгоничского района. На рис. 2 можно видеть, что с увеличением рангов кривая распределения площадей выделенных контуров очень быстро стремится к нулю. Эта же зависимость в логарифмических координатах представляет отчетливо выраженную нелинейную кривую. Однако, если судить по коэффициенту детерминации, она неплохо аппроксимируется прямой линией, что обусловлено тем, что число точек, отклоняющихся от прямой как в области малых, так и в области больших рангов, невелико по сравнению с основной совокупностью значений. Но это порядка сотни первых рангов, отмечающих самые крупные контуры, и чуть меньше сотни наибольших рангов, которые соотносятся с самыми маленькими по площади контурами. Эти отклонения от прямой (около 20% от числа всех контуров) представляют весомый аргумент в пользу того, что кривая может быть разбита на несколько участков, в пределах которых $\ln-\ln$ — зависимость площадей от их рангов — может быть аппроксимирована собственным линейным уравнением.

Для двух других районов ранговые кривые оказываются очень похожими с близкими параметрами линейной аппроксимации (рис. 3). Экспертное разбиение кривой на несколько участков показало, что зависимость в их пределах может быть аппроксимирована отрезками прямых с очень высокими коэффициентами детерминации (табл. 3). По сути, это склейка степенных законов с разными параметрами, и наблюдаемую зависимость скорее следует рассматривать как многоступенчатый вариант степенного закона Ципфа—Парето [2].

Параметр a , тангенс угла наклона аппроксимирующей прямой, увеличивается по абсолютной величине с ростом рангов, меняясь от -0.626 до -4.329 . В области высоких рангов наблюдается его резкое уменьшение, которое может быть объяснено наличием небольших по площади контуров. Действительно, если принять в качестве точки перегиба контур с рангом 1002, это соответствует площади около 3 га, что сопоставимо с минимальным размером контура при масштабе 1 : 50000. Такие контуры можно рассматривать как шум, не учтенный при генерализация рабочих карт масштаба 1 : 10000. Аналогичная картина наблюдается и для двух остальных районов Брянской области.

В пределах отдельных частей Выгоничского района закономерности ранговых распределений площадей контуров остаются аналогичными отмеченным выше (рис. 4).

Высокие коэффициенты детерминации, соответствующие линейной аппроксимации зависимостей (во всех случаях R^2 статистически значим с $\alpha < 0.05$), казалось бы, свидетельствуют о том, что можно принять в качестве модели зависимость $\ln(\text{площадь}) \approx a \ln(\text{ранг})$. Однако на всех графиках отчетливо заметны три основные зоны: начальная, лежащая ниже аппроксимирующей прямой, центральная, лежащая выше этой прямой и конечная зона, в пределах которой наблюдается резкий обрыв. В центральной части также можно выделить несколько линейных участков, однако такое выделение не всегда однозначно, поскольку возможно смещение интервала значений рангов как в сторону больших, так и меньших значений.

Статистические характеристики размеров контуров. Рассмотрим, приурочены ли отдельные типы почв к определенным размерам контуров. Из табл. 4 можно видеть, что нижние границы для всех типов близки. Максимальные значения лишь для контуров серых лесных глеевых почв не превышают 50 га. Для остальных типов максимальные значения обнаруживаются во всех диапазонах размеров, на которые разбивалась ранговая кривая, за исключением первого участка, где находятся преимущественно дерново-подзолистые почвы. Средние и медианные значения площадей контуров практически во всех случаях различаются в 2–4 раза, что свидетельствует о сильной асимметрии их статистических распределений.

Проверку влияния типа почвы, гранулометрического состава, почвообразующей и подстилающей породы и степени эродированности на размеры площадей контуров проводили при помощи однофакторного дисперсионного анализа, после предварительного логарифмирования данных. Все факторы оказались статистически значимыми с уровнем значимости $\alpha < 0.05$. Средние размеры контуров статистически значимо зависят от типа почвы, причем максимальные средние размеры приурочены к дерново-подзолистым, луговым почвам и к комплексам. Площади контуров также зависят от гранулометрического состава. Максимальные средние значения соответствуют песчаному гранулометрическому составу, хотя максимальные площади контуров обнаруживаются на легких суглинках и на супеси. Двучленность верхнего двухметрового слоя почвы обуславливает неодинаковость средних размеров контуров для одинаковых пород. Так, если минимальные контуры приурочены к лёссовидному суглинку и опоке в качестве почвообразующей породы, то для подстилающей породы минимальные контуры соответствуют лёссовидному суглинку и известковым отложениям. Эродированность почв обуславливает значимое уменьшение размеров контуров (табл. 4).

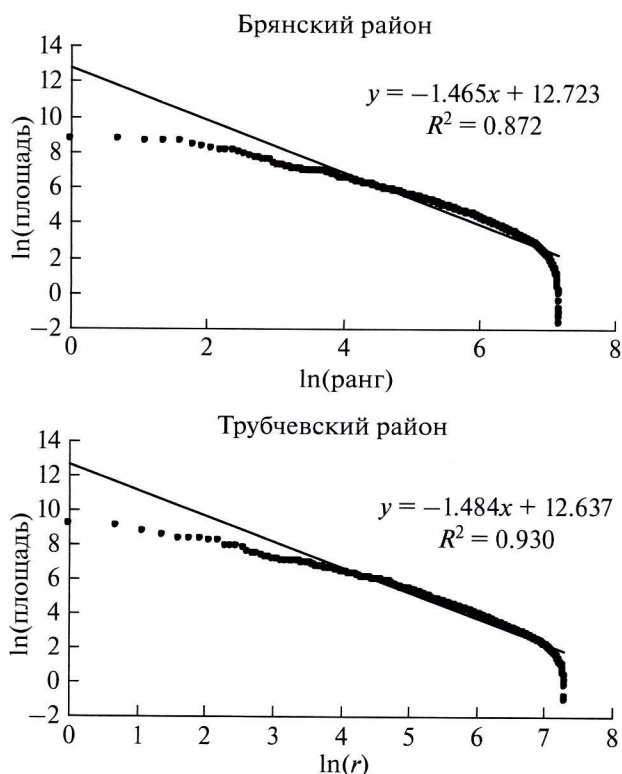


Рис. 3. Ранговые распределения площадей контуров Брянского и Трубчевского районов.

ОБСУЖДЕНИЕ

Исходные районные почвенные карты представляют собой модели реально существующей действительности, построенные в соответствии с теоретическими представлениями о возможных процессах почвообразования на рассматриваемой территории и способах ее отражения. Эти карты неизбежно содержат в себе авторские представления о том, как устроена эта территория, какие почвы здесь присутствуют, насколько правильно определены отдельные почвенные разно-

Таблица 3. Параметры a уравнения $\ln(S) = a \ln(r) + b$ и коэффициенты детерминации, где S – площадь, r – ранг

Интервал рангов площадей	a	R^2
1–1060 (весь диапазон площадей)	–1.382	0.862
1–1002	–1.299	0.946
17–1002	–1.375	0.954
1–16	–0.626	0.890
17–145	–0.965	0.994
146–515	–1.204	0.998
516–871	–2.286	0.991
872–1002	–4.329	0.994
1003–1060	Шум	

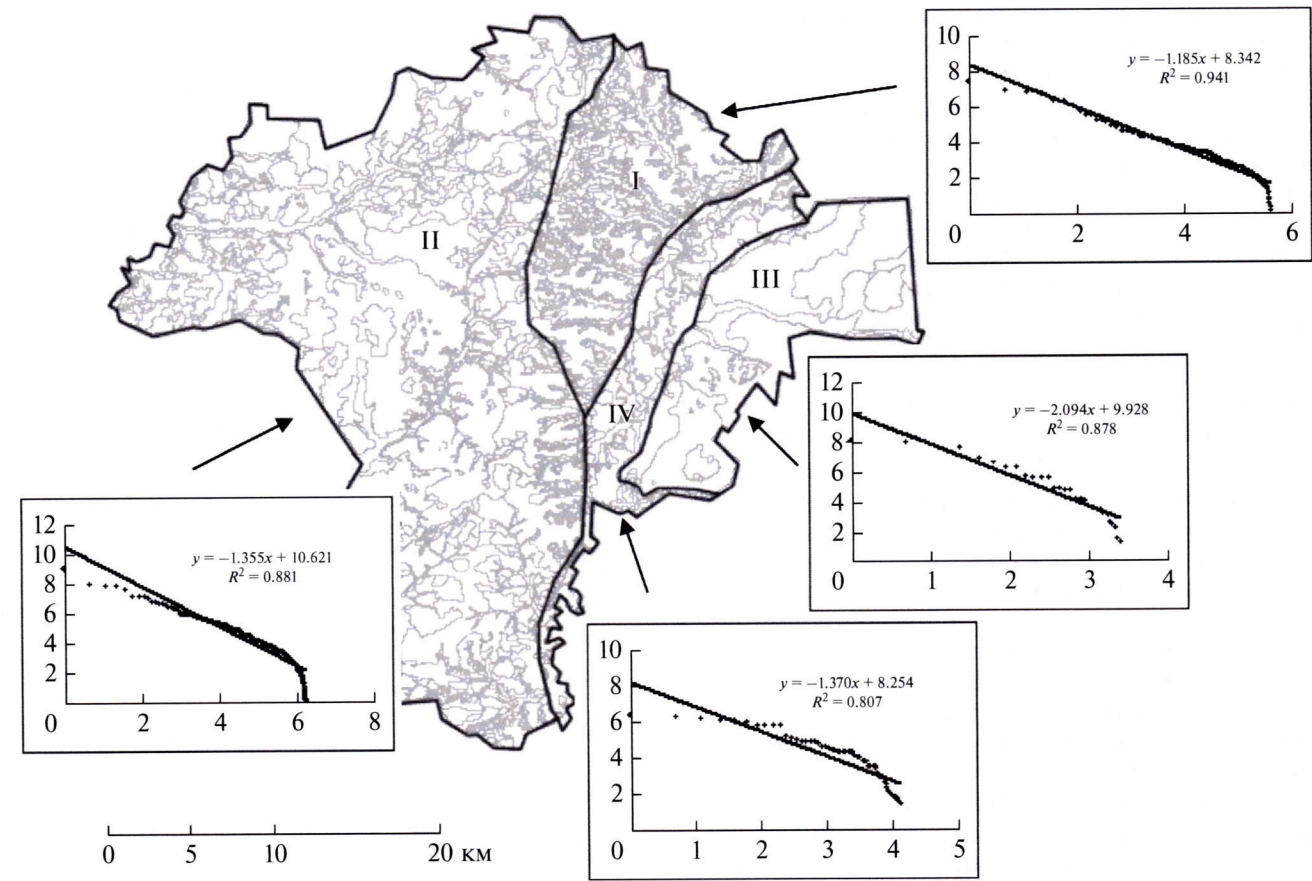


Рис. 4. Почвенные контуры и ранговые распределения площадей контуров в отдельных частях Выгоничского района: I – серые и светло-серые лесные средне- и легкосуглинистые почвы на лёссовидном суглинке, II – дерново-подзолистые легкосуглинистые и песчаные почвы на разных почвообразующих породах с участием болотно-подзолистых, III – дерново-подзолистые супесчаные и песчаные почвы на древнеаллювиальных и водно-ледниковых отложениях, IV – пойменные дерновые, дерново-глеевые и болотные почвы.

сти, насколько точно проведены границы между отдельными почвами и др.

Между характеристиками распределения почвенных контуров в этих районах существует определенное сходство. Так, индексы Шеннона и Симпсона оказываются очень близкими, хотя некоторые различия проявляются при расчете этих индексов для площадей, занимаемых отдельными почвенными разностями. Разнообразие площадей контуров в почвенном покрове Выгоничского района оказывается несколько большим, а выравненность меньшей, нежели для двух других районов. С одной стороны, это может быть обусловлено близкими физико-географическими условиями территории, а с другой – единым подходом к составлению почвенной карты.

Степенные зависимости между числом обнаруживаемых на территориях районов почвенных выделов и рангами классификационных таксонов хорошо соблюдаются для всех районов, причем для Брянского и Выгоничского района зависимости

практически идентичны (рис. 1). Это может свидетельствовать о хорошем качестве, сбалансированности используемой таксономии почв при картировании почвенного покрова.

Ранговые кривые (зависимость логарифма площади выделенных контуров от логарифма номера в упорядоченной последовательности) имеют специфический вид. Ожидаемая линейная зависимость оказывается очевидно нарушенной в области низких и высоких рангов, хотя коэффициенты детерминации показывают очень хорошую линейную связь для общей совокупности значений (для все участков большие 0.85). С точки зрения статистического анализа данных это может служить примером того, что интерпретация статистических расчетов обязательно должна проверяться простыми и наглядными способами. Первая область (большие площади, низкие ранги) может быть обусловлена либо человеческим фактором, либо связана с определяющим фактором почвообразования. Например, эти участки

Таблица 4. Статистические характеристики размеров контуров (Выгоничский район)

Параметр	Среднее	Повторность	Минимум	Максимум	Нижний квартиль	Медиана	Верхний квартиль
Почвы							
дерново-подзолистые	127.5	521	1.3	7586.5	12.4	28.8	62.5
болотно-подзолистые	39.0	129	1.6	490.8	5.2	13.1	33.4
серые лесные	44.6	198	1.4	971.6	7.7	14.2	34.6
серые лесные глеевые	18.2	12	5.7	49.3	9.3	14.0	22.2
торфяно-болотные низинные	45.2	12	4.4	177.2	12.7	29.1	55.9
пойменные дерновые	45.9	13	2.8	310.3	5.5	7.3	68.4
пойменные луговые	105.1	69	3.1	750.5	18.1	51.4	124.4
пойменные болотные	99.9	39	2.9	896.5	10.3	32.7	80.3
овражно-балочные	99.7	53	1.1	1670.3	11.4	23.1	81.0
комплексы	113.0	9	1.4	770.3	11.4	40.3	158.3
Гранулометрический состав							
песок	254.6	38	2.8	2805.2	14.6	35.8	182.5
супесь	121.3	167	1.3	3221.3	11.5	32.9	87.8
легкий суглинок	81.1	707	1.4	7586.5	9.0	20.8	50.1
средний суглинок	91.8	138	1.1	1670.3	10.3	22.3	71.9
тяжелый суглинок	76.8	3	41.6	119.7	41.6	69.1	119.7
Почвообразующая порода							
торф	206.8	4	5.6	408.8	5.9	206.3	407.6
аллювиальные отложения	92.3	194	1.1	1670.3	8.8	32.6	86.2
водноледниковые отложения	136.4	235	1.3	3221.3	14.2	31.3	73.9
моренные отложения	29.8	12	4.3	85.7	9.9	28.0	39.1
покровный суглинок	93.8	469	1.6	7586.5	9.2	21.8	51.9
лессовидный суглинок	35.5	122	1.4	971.6	6.2	11.2	26.8
опoka	39.3	19	5.7	96.1	14.8	36.8	52.7
Подстилающая порода							
торф	487.6	16	5.6	3221.3	9.9	37.1	350.0
аллювиальные отложения	97.9	174	1.1	1670.3	11.0	36.4	90.5
водноледниковые отложения	103.1	187	1.3	2461.9	9.1	25.2	56.7
моренные отложения	60.8	95	1.9	1211.7	12.5	28.4	55.6
покровный суглинок	64.1	239	1.4	2078.0	8.6	17.2	40.3
лессовидный суглинок	25.7	25	2.4	324.5	4.2	9.3	16.1
опoka	109.3	313	1.4	7586.5	10.5	23.9	61.0
известковые отложения	23.9	6	5.7	45.3	8.3	20.7	42.8
Смытость							
несмытые	123.7	752	1.1	7586.5	11.8	32.2	82.0
слабосмытые	26.0	204	1.4	548.0	7.9	14.5	30.2
среднесмытые	19.0	92	1.9	169.2	6.0	11.2	21.5
сильносмытые	14.2	7	4.0	41.3	4.2	11.8	19.0

могут иметь другой масштаб картографирования вследствие трудности обследования лесных территорий, например, участки Гослесфонда в Выгоничском и Брянском районах, заповедник Брянский лес в Трубчевском районе или несоответствующий уровень классификации почв, когда одни участки картографируются на уровне типа, а другие — на уровне вида. Последняя, конечная часть, соответствует так называемой шумовой составляющей, когда выделяются мелкие участки, размеры которых находятся на грани точности карты или генерализация проводится не должным образом. Средняя часть, “склейка” линейных отрезков, может говорить о меняющихся законах разделения пространства, однако, к со-

жалению, пока не удается предложить каких-либо объяснений этому факту. Казалось бы, можно ожидать, что на отдельных участках ранговой кривой будут преимущественно располагаться почвы, соответствующие некоторым классификационным выделениям, или, возможно, будут проявляться сгущения, связанные с гранулометрическим составом, породой и др. Однако таких сгущений не обнаруживается. За исключением первой части ранговой кривой, все классификационные выделения встречаются на всех участках.

Ранговые распределения площадей почвенных контуров, обнаруживаемые на районных картах масштаба 1 : 50000, оказываются очень похожими на распределения таксонов WRB в не-

скольких регионах Европы ($M 1 : 1500000$), представленные в работе Ибанеза с соавт. [21]. А именно, на начальном и конечном участках данные лежат ниже прямой, а в центральной части — выше. Почти на всех графиках из этого источника на конечном участке наблюдается резкий обрыв. При этом коэффициенты детерминации, оценивающие степень близости этих зависимостей к линейным, оказываются статистически значимыми ($\alpha < 0.05$). Таким образом, разные территории, разные классификации и разные масштабы дают близкие закономерности.

В биологии степенные законы зачастую рассматривают как подтверждение фрактальной структуры изучаемого показателя [4], хотя столь частое следование распределений природных объектов этим законам может рассматриваться просто способ описания, не объясняющий закономерность организации [7]. Отсутствие единой прямой, аппроксимирующей ранговое распределение площадей почвенных контуров на исследуемой территории, указывает на то, что вряд ли можно описывать такое распределение простой степенной зависимостью. Наблюдаемые устойчивые отклонения от линейности свидетельствуют о более сложной, нежели или простой фрактал, модели пространственного размещения отдельных классификационных единиц в пространстве почвенного покрова. Скорее всего, модель должна обладать большей сложностью, поскольку распределение непрерывных почвенных контуров в пространстве, зависящее от объективных и субъективных факторов, имеет принципиальное отличие от распределения дискретных биологических объектов.

Отнесение почвы к той или иной классификационной единице часто зависит от индивидуальных предпочтений специалиста, проводящего полевые исследования. Так, морфологически близкие дерново-слабоподзолистые и светло-серые почвы [6] могут легко замещать друг друга при картографировании. Постепенность, размытость почвенных границ может приводить к изменению площади отдельного почвенного контура, но общая площадь сохраняется. Тем не менее, устойчивость характера ранговых кривых, обнаруженных на разных территориях, при разных масштабах картографирования, при использовании разных почвенных классификаций свидетельствует о существовании глубинных закономерностей, определяющих конечный результат картографирования — почвенную карту.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Показано, что почвенный покров трех административных районов Брянской области характеризуется близкими значениями показателей разнообразия Шеннона и Симпсона, что может

быть обусловлено сходством условий почвообразования и выполнением единых требований к качеству картографирования почвенного покрова.

Установлено, что зависимость между числом регистрируемых классификационных единиц и рангами иерархических уровней классификации практически совпадает для Брянского и Выгоничского районов, несколько отстоит от них Трубчевский район.

Обнаружено, что ранговое распределение площадей почвенных контуров для всех рассмотренных административных районов Брянской области имеет схожую форму. Однако, несмотря на то, что в логарифмических шкалах эмпирические кривые неплохо аппроксимируются степенными законами с коэффициентами детерминации $R^2 > 0.9$, на всех графиках четко выделяются 3 зоны: 1) пологая начальная, в которой расположены наиболее крупные контуры и которая содержит 5–10% от общего числа контуров; 2) срединная зона, которая может быть аппроксимирована набором линейных отрезков с увеличивающейся крутизной и 3) конечная зона (зона шума), где наклон линейной аппроксимации заметно превышает 2. В первую зону попадают большие территории под лесными массивами, последняя зона (шумовая составляющая) представлена контурами, площадь которых меньше 3 га, что сопоставимо с предельными размерами контуров на картах такого масштаба. В центральной и последней зонах ранговой кривой не наблюдается зон концентраций размеров контуров, соответствующих отдельным типам почв, развитых на конкретных породах и др., хотя, судя по результатам дисперсионного анализа, средние значения контуров зависят как от типа почвы, так и от гранулометрического состава, почвообразующей породы и степени смытости.

Закономерности, выявляемые на ранговых кривых площадей контуров почвенного покрова Брянской области, имеют схожий вид с зависимостями, обнаруживаемыми на аналогичных графиках для карт нескольких регионов Европы (масштаб $1 : 1500000$, классификация WRB), представленных в работе [21]. Возможно, это проявление фрактальных свойств почвенного покрова, то есть самоподобие в широком диапазоне масштабов [22, 23].

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 16-44-320069 p_a “Динамика почвенного покрова Брянской области в постперестроечный период”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алябина И.О. Картографическая оценка педоразнообразия территории России // Доклады по экологическому почвоведению. 2013. № 2. Вып. 19. С. 1–15.
2. Благовещенский Ю.Н., Винюков И.А. Анализ выборов в Думу-2003 и стратификация избирателей. Интернет-мониторинг выборов 2003–2004 годов в России (Гражданская инициатива проекта “Информатика для демократии – 2000+”). М.: Фонд ИНДЕМ, 2004. Т. 2. С. 504–522.
3. Временные указания по составлению почвенных карт областей (краев, АССР) РСФСР. М.: МСХ РСФСР, Росземпроект, 1976.
4. Гелашвили Д.Б., Иудин Д.И., Розенберг Г.С., Якимов В.Н., Солнцев Л.А. Фракталы и мультифракталы в биоэкологии. Изд-во Нижегородского гос. ун-та, 2013. 373 с.
5. Дмитриев Е.А. О почве, почвах и почвенном покрове // Вестник Моск. ун-та. Сер. 17, почвоведение. 1988. № 2. С. 3–11.
6. Егоров В.В., Фридланд В.М., Иванова Е.Н., Розов Н.Н. и др. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 221 с.
7. Коросов А.В. Бесподобное самоподобие // Принципы экологии. 2013. № 4. С. 82–85. doi 10.15393/jlart.2013.3181
8. Красильников П.В., Герасимова М.И., Голованов Д.Л., Конюшкова М.В., Сидорова В.А., Сорокин А.С. Почвенное разнообразие и его значение в контексте современной географии почв // Почвоведение. 2018. № 1. С. 3–16. doi 10.7868/S0032180X1801001X
9. Мзгарран Э. Экологическое разнообразие и его измерение. М.: Мир, 1992. 181 с.
10. Природное районирование и типы сельскохозяйственных земель Брянской области. Брянск, 1975.
11. Смирнова М.А., Геннадиев А.Н. Количественная оценка почвенного разнообразия: теория и методы исследования // Вестник Моск. ун-та. Сер. 5, география. 2017. № 4. С. 3–11.
12. Сорокина Н.П. Методология составления крупномасштабных агроэкологически ориентированных почвенных карт. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2006. 161 с.
13. Черкашина А.А., Силаев А.В. Изучение и картографирование агрогенной трансформации почвенного покрова Тункинской котловины // Успехи современного естествознания. 2016. № 5. С. 168–173.
14. Указания по составлению районных почвенных карт в автономных республиках, краях и областях РСФСР. М.: МСХ РСФСР, 1972.
15. Фридланд В.М. Структура почвенного покрова. М.: Наука, 1976. 200 с.
16. Хорина Е.В., Лобанов Г.В. Экологические аспекты эрозионной устойчивости пахотных земель Брянской области // Вестник Тамбовского ун-та. Сер. Естественные и технические науки. 2013. Т. 18. Вып. 2. С. 714–718.
17. McBratney A.B. On variation, uncertainty and informatics in environmental soil management // Australian J. Soil Res. 1992. V. 30. № 6. P. 913. doi 10.1071/SR9920913
18. Guo Y., Gong P., Amundson R. Pedodiversity in the United States of America // Geoderma. 2003. V. 117. № 1–2. P. 99–115. doi 10.1016/S0016-7061(03)00137-X
19. Ibáñez J.J., De-Albs S., Bermúdez, F.F., García-Álvarez A. Pedodiversity: concepts and measures // Catena. 1995. V. 24. № 3. P. 215–232. doi 10.1016/0341-8162(95)00028-Q
20. Ibáñez J.J., Arnold R.W., Ahrens R.J. The fractal mind of pedologists (soil taxonomy and soil surveyors) // Ecological Complexity. 2009. № 6. P. 283–293.
21. Ibáñez J.J., Perez-Gomez R., San Jose Martinez F. The spatial distribution of soils across Europe: A fractal approach // Ecological Complexity. 2009. № 6. P. 294–301.
22. Jiang B., Liu X. Scaling of geographic space from the perspective of city and field blocks and using volunteered geographic information // Int. J. Geographical Information Sci. 2012. V. 26. № 2. P. 215–229.
23. Jiang B. The Fractal Nature of Maps and Mapping. 2014. <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1406/1406.5410.pdf>
24. Krasilnikov P.V., Garcia-Calderon N.E., Ibañez-Huerta A. Pedodiversity in mountainous tropical semideciduous forests of Sierra Madre del Sur, Mexico // Eurasian Soil Science. 2009. V. 42. № 13. P. 1435–1442. doi 10.1134/S106422930913002X
25. Newman M.E.J. Power laws, Pareto distributions and Zipf's law // Contemporary Physics. 2005. V. 46. № 5. P. 323–351.

The Pedodiversity on Soil Maps at the District Level

V. P. Samsonova^{a,*}, D. G. Krotov^b, and V. A. Voronin^b^aLomonosov Moscow State University, Leninskie Gory 1, Moscow, 119991 Russia^bBryansk State Agricultural University, Kokino, Vygonichsky district, Bryansk oblast, 243365 Russia

*e-mail: vkbun@mail.ru

The analysis of soil maps for three districts of Bryansk oblast demonstrates that the rank distributions of the areas of polygons of low soil taxonomic units on these maps have a specific form that can be described as the gluing of several power distributions known as the Pareto laws. The form of the distributions is preserved in the three administrative districts, as well as in the individual soil-geographical areas, to which these districts can be divided. The analysis of variance performed for the logarithms of the sizes of the polygons attests to the effects of the genetic soil type, soil texture, and the character of parent material and underlying substrates on the size of the polygons. However, the ranking of the curves does not display any pronounced aggregation of the predominant sizes of the polygons of certain soil taxonomic units.

Keywords: pedodiversity, power laws, areas of soil polygons