

ГЕНЕЗИС И ГЕОГРАФИЯ ПОЧВ

УДК 631.44.065

РАЗНООБРАЗИЕ И ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА В РАЗНЫХ КАРТОГРАФИЧЕСКИХ МАСШТАБАХ

© 2020 г. П. В. Красильников^{a, b, *}, М. И. Герасимова^a, Д. Л. Голованов^a,
Ю. А. Головлёва^a, М. В. Конюшкова^a, В. А. Сидорова^b, А. С. Сорокин^a

^a МГУ им. М.В. Ломоносова, Ленинские горы, 1, Москва, 119991 Россия

^b Институт биологии КарНЦ РАН, ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, 185910 Россия

*e-mail: krasilnikov@ecfs.msu.ru

Поступила в редакцию 25.11.2019 г.

После доработки 10.12.2019 г.

Принята к публикации 29.02.2020 г.

Обобщены результаты исследований почвенного разнообразия, контрастности и вариабельности свойств почв путем анализа карт различных масштабов Республики Карелии, Московской области и Республики Дагестан. В качестве мелкомасштабной карты использовали фрагменты почвенной карты Российской Федерации масштаба 1 : 2 500 000; в качестве среднемасштабных – три различные карты масштаба от 1 : 300 000 до 1 : 500 000. Карты крупного масштаба (1 : 10 000) были составлены на репрезентативные участки в рамках исследованных территорий специально для анализа почвенного разнообразия. Все карты были оцифрованы, легенды карт преобразованы в классификацию почв России и международную – Мировую реферативную базу по почвенным ресурсам (WRB) и были рассчитаны индексы разнообразия Шеннона–Винера. Их сравнение для трех групп карт с легендами в двух классификациях выявило зависимость величин индексов разнообразия от масштаба карты. Показатели для крупномасштабной карты были относительно низкими и мало различались при использовании российской и международной классификаций. Сделан вывод о том, что для успешной оценки почвенного разнообразия в различных масштабах важно использовать несколько крупномасштабных карт, отражающих неоднородность почвенного покрова региона. Практически во всех случаях карты с легендой в системе WRB имели более низкие показатели почвенного разнообразия, чем карты с легендой, основанной на российской классификации. Очевидно, что международная классификация менее детализирована, чем национальная российская классификация, изначально ориентированная на крупномасштабное почвенное картографирование.

Ключевые слова: почвенные карты, европейская территория России, педометрика, классификации почв, Карелия, Московская область, Дагестан

DOI: 10.31857/S0032180X20080092

ВВЕДЕНИЕ

Среди задач географии почв к важным задачам относятся адекватная визуализация и формализация пространственной организации почвенного покрова [7, 11, 15]. Визуализация традиционно осуществляется на картах, которые отображают либо таксономические группы почв, либо их отдельные свойства и характеристики [26]. В последние годы оба типа почвенных карт получили развитие в среде геоинформационных систем и могут генерироваться в рамках цифровой почвенной картографии с широким привлечением косвенной информации о факторах почвообразования и данных дистанционного зондирования, что повышает точность картографических продуктов [25]. Считается, что современное развитие цифровой почвенной картографии позволило вывести визуализацию почвенного покрова на принципиально

новый уровень, а развитие методов геофизической и дистанционной съемки, математического аппарата и вычислительной техники обеспечивает быстрый прогресс в этой области [7]. Помимо прочего, современные геоинформационные системы позволяют продвинуться в формализации данных, характеризующих пространственную организацию почвенного покрова [18, 28], начиная от распределения площадей, занимаемых разными таксонами почв, и кончая геостатистическим анализом отдельных почвенных свойств [25].

Следует отметить, что формализация распределения почв и их свойств в пространстве связана не столько с прогрессом компьютерной техники и математических методов, сколько с осмыслением и интерпретацией полученных результатов [23]. В частности, в конце XX в. очень популярным было применение геостатистических методов в почвоведении.



Рис. 1. Расположение районов исследования на карте европейской части России: 1 – Республика Карелия, 2 – Московская область, 3 – Республика Дагестан.

дении, которые позволили существенно повысить качество почвенных и агрохимических картограмм, однако генетико-географическая интерпретация данных обычно была затруднительна [8]. В некоторых работах показано, как геостатистика позволила выявить палеопочвенные признаки, “скрытые” тренды и периодичность пространственного распределения свойств в почвенном покрове [4, 8]. Хотя геостатистика в определенный период была наиболее широко применяющимся из математических методов в почвоведении, позднее выяснилось, что целый ряд других подходов оказался не менее полезным для анализа и моделирования почвенного покрова. Например, продуктивным оказались методы случайных лесов, анализа графов, нейронные сети и др. [15, 25, 26, 28].

Одним из продуктивных методов формализации пространственной организации почвенного покрова стало исследование почвенного разнообразия территорий; с начала 1990-х годов изучение педоразнообразия проводилось в разных масштабах и с разными целями [9, 15, 21, 27]. Хотя метод оказался продуктивным, в том числе и для оценки почвенного покрова России [1, 16], в ходе ис-

следований были выявлены определенные ограничения, связанные с влиянием на получаемые результаты использования при создании легенды той или иной почвенной классификации [10], с одной стороны, и масштаба карты, с другой [19]. Следовательно, в ходе анализа почвенного разнообразия различных почвенных ландшафтов в разных масштабах возникает закономерный вопрос об информативности показателей и достоверности результатов. Несмотря на влияние субъективных факторов, связанных с классификацией и картографированием почвенного покрова, оценка почвенного разнообразия может быть полезна для решения многих задач, как концептуальных, так и прикладных.

Для выявления возможности извлечения почвенно-географической информации из разномасштабной оценки педоразнообразия были проанализированы индексы разнообразия почвенного покрова по картам трех различных в ландшафтном отношении территорий европейской России: Республики Карелии, Московской области и Республики Дагестан.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Настоящее исследование основано на анализе разномасштабных почвенных карт, составленных в идеологии разных классификаций. Для трех модельных регионов европейской части России: Карелии, Московской области и Дагестана (рис. 1) были векторизованы и проанализированы три карты для оценки почвенного разнообразия: мелкомасштабная, среднемасштабная и крупномасштабная. В качестве мелкомасштабной карты (ММК) для всех регионов использовали фрагменты Почвенной карты РСФСР масштаба 1 : 2,5 млн, которая была составлена большой группой почвоведов Почвенного института им. В.В. Докучаева под руководством Фридланда [14]. Используемая в ней в качестве легенды группировка и номенклатура почв рассматривается как предшественница новой российской почвенной таксономической системы и является основой Государственного почвенного реестра [5, 13].

Среднемасштабной картой (СМК) для Карелии была карта масштаба 1 : 500 000, созданная О.Н. Михайловской в 1950-е годы на основе имевшихся материалов, в том числе детальных геологических, и ее собственных почвенных исследований. Карта не была опубликована, но в дальнейшем использовалась при подготовке Государственной почвенной карты и других карт на территорию Карелии. Для Московской области был взят недавно выпущенный Алябиной с соавт. цифровой продукт “Цифровая среднемасштабная почвенная карта Московского региона” [2]. Поскольку карта исходно была составлена в цифровом формате, ее точный масштаб не определен, а разрешение соответствует масштабу в диапазоне 1 : 300 000–1 : 500 000. Для территории Респуб-

лики Дагестан использовали “Почвенную карту Дагестанской АССР” масштаба 1 : 300000 [12]. Легенды всех СМК различались: карта Карелии основана на авторской легенде, Московская область имела легенду в формате классификации почв России [5], а на карте Дагестана легенда построена в соответствии с классификацией почв СССР [6].

Крупномасштабные карты (КМК) были составлены целенаправленно для данного исследования, следуя принципам классификации почв России [5, 13]. Легенды всех карт преобразовывали в международную классификацию почв – Мировую реферативную базу почвенных ресурсов (WRB) [22]. Области и границы картографических единиц сохраняли в том виде, в каком они имелись на исходных картах. Преобразование единиц легенд происходило путем переклассифицирования в систему WRB почв на основании наиболее типичных морфологических и химических признаков, свойственных каждой почве, имеющейся в легенде карты.

Почвенный покров регионов соответствует общим географическим закономерностям. В Карелии доминирует две группы почв: альфегумусовые подзолы (Albic Podzols) и олиготрофные торфяные почвы (Ombic Fibric Histosols); широтный градиент прослеживается довольно слабо. В Московской области, напротив, хорошо выражена широтная зональность: на севере и в центре преобладают дерново-подзолистые почвы (Albic Retisols), к югу же чаще встречаются серые почвы (Greyzemic Phaeozems), а на самом юге – иллювиально-глинистые черноземы (Luvic Chernozems). Территория Дагестана разделяется на две части: на севере в пределах Прикаспийской низменности преобладают каштановые и лугово-каштановые почвы (Kastanozems, Gleyic Kastanozems), солонцеватые каштановые (Kastanozems Sodic), солонцы (Solonetz), местами образующие комплексы, и солончаки (Solonchaks), в южной части горный рельеф определяет распределение почв в соответствии с законом вертикальной поясности. Каштановые почвы подгорной равнины сменяются с высотой горными коричневыми и буроземами темными (Cambisols), горными черноземами (Phaeozems), и перегнойно-темногумусовыми почвами верхнего пояса гор (Umbrisols).

Для сопоставления показателей почвенного разнообразия использовали индексы Шеннона–Винера, которые рассчитывали по формуле:

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

где p – доля площади, занятая классом i на определенной территории, s – общее количество классов, которое встречается в пределах почвенного ландшафта.

Помимо общих значений, проводили визуализацию распределения почвенного разнообразия на картах масштаба 1 : 2.5 млн. Значения разнообразия на картах получали с помощью программного обеспечения Fragstat в движущемся окне размером 100 × 100 пикселей (50 × 50 км) на основе оцифрованной почвенной карты масштаба 1 : 2.5 млн с разрешением 500 × 500 м.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для территории Карелии индексы почвенного разнообразия сложно изменялись при разном масштабе картографирования (табл. 1). Наибольшая пространственная неоднородность зафиксирована для СМК (4.18) с исходной авторской легендой, составленной в традициях факторно-генетических отечественных классификаций с повышенным вниманием к петрографическому составу пород. Для ключевого участка КМК (Вешкелицы) значения индекса Шеннона–Винера было 3.46, а наименьшее значение отмечено для ММК (3.24). При использовании в легенде системы WRB тенденция была несколько иной: минимальные значения зафиксированы для КМК (2.36), а для СМК и ММК результаты были близкими. Больше разнообразие на КМК с легендой в российской классификации обусловлено также особенностями гранулометрического состава и генезиса материнских пород. Два генетических варианта рыхлых отложений: водно-ледниковый и ледниковый – подразделяются на песчаные, супесчаные и суглинистые, и почвы, формирующиеся на этих отложениях, могут иметь разный гранулометрический состав. Следовательно, комбинаторика разновидностей почв и пород дает множество картографических единиц. На карте, выполненной в легенде WRB, генезис почвообразующих пород не выделяется явным образом, поэтому почвенный покров оказываются более однородным. Сходные причины обуславливают высокую дифференцированность СМК Карелии в исходной легенде, где материнские породы подразделяются не только в соответствии с гранулометрическим составом четвертичных отложений, но и с петрографическим составом плотных пород, включающих граниты, зеленокаменные и мафические породы, шунгитовые (графитоподобные) и слюдястые сланцы, известняк. Кроме того, четыре единицы в легенде представляют собой антропогенно-модифицированные почвы. Следует отметить, что участок Гомсельга, с которого начался анализ [10], отличается наиболее разнообразным почвенным покровом в Карелии из всех, для которых оценивали индексы разнообразия почв по картам масштаба 1 : 10000. Для него индекс Шеннона–Винера был равен 5.33. Как показано ранее [10], это только частично объясняется разнообразием почвообразующих пород на этом участке. Главным образом, повышенное педоразнообразие связано с размерами обследованной территории. Как показано в наших работах [9, 10], рост почвенного разнообразия в масштабе 1 : 10000 про-

Таблица 1. Величины индексов Шеннона–Винера для карт разных масштабов трех регионов

Модельный район	Площадь	Масштаб карт		
		1 : 2500000	1 : 300000–1 : 500000	1 : 10000
Карелия	149530	3.24*	4.16	3.46(1.00)**
		3.17	3.32	2.36
Московская область	46650	3.48	3.55	1.49(0.81)
		2.51	3.36	0.69
Дагестан	50060	4.03	5.52	2.00(0.18)
		3.90	5.00	2.00

* Над чертой – карты с легендой в российской классификации, под чертой – с легендой в WRB.

** В скобках – площадь участка, км².

порционален увеличению площади обследования в степени 3/4. Физический смысл этой закономерности интуитивно ясен, но требует математического обоснования.

Сходство индексов разнообразия в разных масштабах является важным признаком, который характеризует многоуровневую организацию почвенного покрова Карелии. Поскольку почвенный покров территории в основе имеет двухкомпонентную структуру (подзолы + торфяные почвы), которая определяется ледниковым рельефом с соответствующими отложениями, пространственная организация почвенного покрова преимущественно определяется топографией местности. Дополнительные почвы на специфических породах и переходные полугидроморфные варианты почв только немного усложняют картину. В целом почвенный покров повторяет рельеф, который имеет признаки самоподобия в разных масштабах. Распределение разнообразия почв визуализировано на карте значений индекса разнообразия Шеннона–Винера (рис. 2). Наименьшее разнообразие наблюдалось в ландшафтах с хорошо выраженным сельговым рельефом, где почвенные комбинации оказались простыми: возвышенные участки заняты песчаными подзолами, а впадины – олиготрофными торфяными почвами, причем переходная зона между ними практически отсутствовала. Низкие показатели дифференцированности почвенного покрова наблюдались также в районах с преобладанием обширных флювиогляциальных песчаных равнин, с такими же подзолами. Напротив, высокое разнообразие отмечено в возвышенной северо-западной части Карелии (горный массив Маанселька) и в окрестностях Ладожского озера с частыми выходами разнообразных коренных пород, чередующихся с различными четвертичными отложениями. Наличие переходных почв, таких как торфяно-подзолы глеевые, торфяно-глеевые и маломощные торфяные, также увеличивает почвенное разнообразие. Важно отметить, что картографическое изображение отражает плотность почвенных полигонов на карте, а не реальное распределение почв. Карты мелкого и среднего масштаба составляются путем

генерализации, что неизбежно приводит к потере информации. Наличие обширных полигонов не означает, что в его пределах присутствует только одна почвенная группа, а то, что почвенный ландшафт относительно однороден, и одна почвенная группа занимает основную площадь.

Для Московской области установлено, что индексы разнообразия для КМК (1.49) были существенно ниже, чем для СМК (3.55) и ММК (3.48), которые показали очень близкие значения. При использовании системы WRB в качестве легенды значения были несколько ниже для СМК (3.36) и существенно ниже (2.51) для ММК, чем в случаях исходных легенд. Разница объясняется тем, что в более генерализованной ММК общее богатство почв, среди которых преобладают дерново-подзолистые, в легенде международной классификации и в исходной легенде оказались близким. В легенде СМК значительную долю занимают дерново-подзолистые почвы, дифференцированные по глубине оподзоливания, что никак не отражается в системе WRB. Также на СМК Московской области отмечены эродированные почвы разной степени смытости, что в международной системе не включается в название почвы, за исключением сравнительно редких в области сильно смытых почв, которые переходят в реферативную группу Regosols. Полученные в ходе полевых работ материалы свидетельствуют о крайне низком разнообразии почв на крупномасштабной карте (1.49); при расчетах с использованием WRB в качестве легенды педоразнообразие было еще ниже (0.69). Поскольку мы старались выбрать участки в одном типе ландшафта (местности ландшафтоведов), не выходя в области поймы или сильного расчленения овражно-балочной сетью, почвенный покров почти полностью состоял из серых почв, которые слегка различались по гранулометрическому составу и по присутствию или отсутствию второго гумусового горизонта. Наличие других почвенных ландшафтов в Московской области отражается на СМК и ММК, и их размеры достаточны для того, чтобы быть выделены на картах и среднего, и мелкого масштабов. По сути, разнообразие почвенного покрова Московской области

определяется несколькими разномасштабными факторами. С одной стороны, на территории области хорошо выражен градиент, связанный с широтной зональностью, в соответствии с которым происходит смена почв в автономных позициях от дерново-подзолистых на севере к серым и иллювиально-глинистым черноземам на юге области. С другой стороны, существует определенное разнообразие почвообразующих пород, которые включают отложения московской морены, покровные суглинки и свежие аллювиальные и торфяные отложения. В формировании почвенного покрова области существенную роль имеют также процессы линейной эрозии, создавшие сложную овражно-балочную сеть. Разнообразие почв в мелком и среднем масштабах отражает самоподобие овражной сети, но в то же время нельзя утверждать, что псевдофрактальная структура не распространяется на крупный масштаб. В исследовании мы умышленно выбрали наименее нарушенной эрозией участок. Вероятно, что при включении мелких оврагов в пробные участки получили бы существенно большие значения почвенного разнообразия. Также надо отметить, что Московская область – регион с очень высокой степенью и разнообразием антропогенных нарушений почвенного покрова [3]. Локализация вокруг мегаполиса, большое количество поселений разного размера, застроенность дачами и интенсивное сельскохозяйственное освоение приводит к тому, что обширные территории заняты агрогенно- и техногенно-преобразованными почвами, что усиливает пестроту почвенного покрова, но не отражается на имеющихся почвенных картах. Пространственное распределение разнообразия природных почв для Московской области визуализировано на карте значений индекса разнообразия Шеннона–Винера (рис. 3). Максимальное разнообразие отмечается на северо-западе и на востоке области. Вопреки ожиданиям, максимальное разнообразие соответствует не расчлененным возвышенным участкам, таким как Клинско-Дмитровская гряда и Среднерусская возвышенность, а Верхневолжской и Мещерской низменностям, что, очевидно, связано с неоднородностью водно-ледниковых отложений: песчаных, слоистых, с ортзандами, с суглинистыми прослойками и/или близким подстиланием моренными суглинками и глинами. Такое строение отложений определяет заболоченность местности и варьирование свойств оглеенных почв.

Для территории Дагестана получены следующие результаты: индекс почвенного разнообразия, рассчитанный по карте масштаба 1 : 2.5 млн (4.03), был существенно меньше индекса для карты масштаба 1 : 300 000 (5.52). Последний имел наибольшее значение среди всех произведенных в данной работе определений по картам любого масштаба в обеих классификационных системах. Участок Прикаспийской низменности, для которого про-

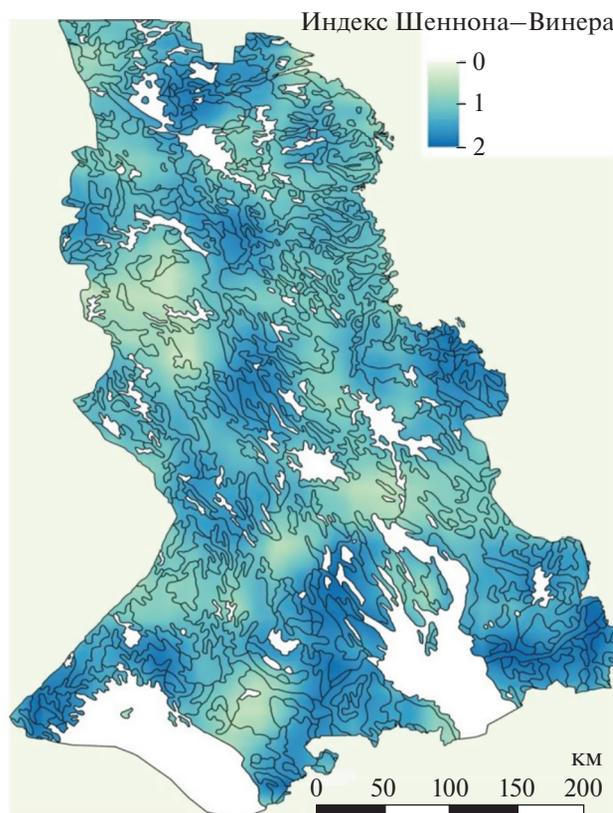


Рис. 2. Пространственное распределение величин индекса почвенного разнообразия в Республике Карелия [20].

изводилась оценка педоразнообразия в масштабе 1 : 10 000, имел низкие значения (2.00) как при использовании российской классификации, так и в случае WRB. Низкие значения разнообразия почв на крупномасштабной карте связаны с тем, что Прикаспийская низменность относится к относительно однородным в почвенном отношении частям республики, что иллюстрируется картой распределения почвенного разнообразия Республики Дагестан (рис. 4). Кроме того, площадь КМК имеет наименьшие размеры по сравнению с другими объектами, так что при проведении почвенной съемки пришлось использовать очень плотную сетку заложённых разрезов.

Почвенный покров Прикаспийской низменности в пределах республики состоит из двух больших общностей почв: каштановых, часто с признаками гидроморфизма, и засоленных – солонцов и солончаков на глинистых и суглинистых, реже песчаных, морских отложениях. К последним приурочены слабообразованные почвы (Arenosols) на эоловых песках и супесях.

На средне- и мелкомасштабных картах хорошо заметна разница в почвенном разнообразии Северного и Южного Дагестана, которая связана с разнообразием природы южных горных районов республики. Горные массивы отмечались как тер-

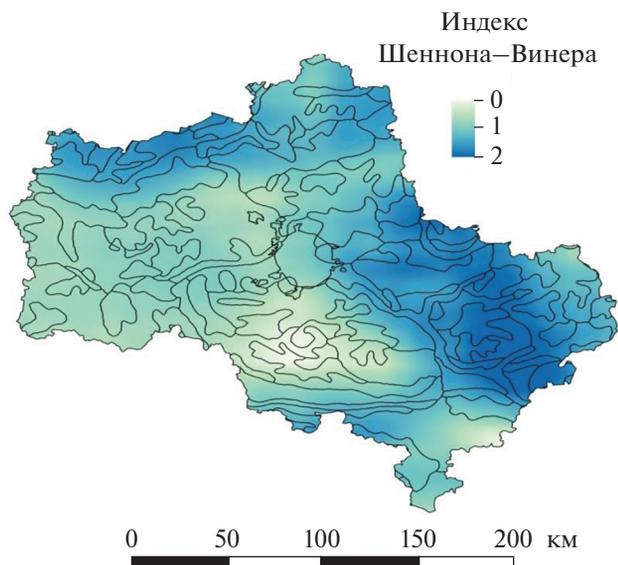


Рис. 3. Пространственное распределение величин индекса почвенного разнообразия в Московской области.

ритории с наиболее высоким педоразнообразием на всей территории России [1]. Это объясняется тем, что на вертикальную поясность накладываются эффекты экспозиции склонов и склоновых процессов, что определяет разнообразие почвенных профилей, в том числе за счет степени их развития. В горах Дагестана почвы формируются на плотных осадочных породах — песчаниках, сланцах, известняках [14], что вносит свою лепту в различия между почвами в пределах вертикальных поясов. На самом севере республики разнообразие почв увеличивается за счет сочетания гидроморфных, аллювиальных, слаборазвитых, засоленных и зональных почв сухих степей. Очевидно, что КМК небольшого участка, заложенного на Прикаспийской низменности, не отражает всего разнообразия почвенных ландшафтов Дагестана.

Пример исследования на детальном уровне в Дагестане особенно убедителен в плане выбора ключевых участков — их размера и местоположения, в системе почвенных ландшафтов более высокого уровня. Так, в Карелии, где почвенный покров относительно прост и состоит из небольших (малых) ареалов, значения индексов педоразнообразия, рассчитанные для КМК, варьировали в достаточно широких пределах [10]. В Московской области, и особенно в Дагестане, разница в значениях индексов для разных, выбранных для составления КМК участков могла бы быть больше. Другими словами, сложность почвенного покрова этих территорий настолько велика, что выбрать участок для крупномасштабного картографирования, который отражал бы количественно общую картину сложности почвенного покрова маловероятно. В случае Московской области существенны различия, определяемые зональным трендом (дерново-

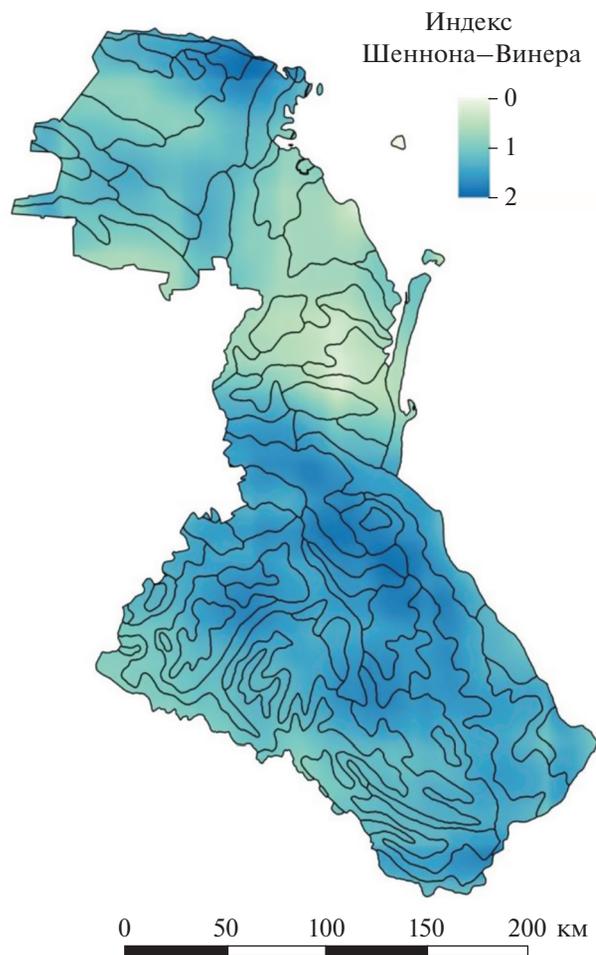


Рис. 4. Пространственное распределение величин индекса почвенного разнообразия в Республике Дагестан.

подзолистые — серые почвы), не говоря об антропогенном факторе, в Республике Дагестан — макрорельефом (горный массив с вертикальным спектром поясов и Прикаспийская низменность, с засоленными и местами с орошаемыми почвами). Очевидно, для получения более точной и объективной картины необходимо проводить оценку почвенного разнообразия для нескольких участков, заложенных в разных природных и антропогенно модифицированных ландшафтах.

Большая разница между значениями индексов разнообразия, вычисленных по СМК и ММК, частично объясняется размерами ареалов почв, а отчасти — субъективными причинами. Поскольку в Дагестане значительная часть разнообразия определяется наличием горных систем, а в них многие почвенные ареалы на ММК объединяются в процессе географической генерализации. Субъективный фактор находит отражение в диагностике почв вообще и в разделении горных и равнинных вариантов одних и тех же почв. При использовании WRB в качестве легенды для карты значение

индекса Шеннона–Винера было несколько меньше как для ММК (3.90), так и для СМК (5.00).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ индексов разнообразия в разных масштабах и их пространственного распределения продемонстрировал эффективность метода оценки педоразнообразия по разномасштабным почвенным картам для почвенно-географического анализа.

Сравнение индексов разнообразия почв для трех регионов европейской России на ММК показало, что они были близки и увеличивались с севера на юг: 3.24 для Карелии, 3.48 для Московской области и 4.03 для Дагестана. Близость показателей связана с тем, что все регионы имеют сходное таксономическое богатство почв, хотя оно обусловлено разными факторами. Градиент изменения разнообразия также имеет объяснение: в Карелии слабо выражен широтный градиент по сравнению с Московской областью в связи с преобладанием отложений легкого гранулометрического состава, менее сенсорных к климату как фактору почвообразования [17]. В почвенном покрове Республики Дагестан велик контраст между ее равнинной и горной частями, а в равнинной части определен вклад вносят засоление и гидроморфизм.

Сравнение индексов, полученных для СМК, показывает большие различия в строении почвенного покрова Карелии, Московской области и Дагестана, чем аналогичные результаты, полученные для ММК. Одной из причин могут быть особенности методологии картографирования авторов сравниваемых нами карт: в отличие от карты масштаба 1 : 2.5 млн, которая разрабатывалась одним коллективом, все три СМК составлялись почвоведомы разных научных школ и в разное время. Очевидно, карты среднего масштаба более адекватно отражают реальную ситуацию с разнообразием почвенного покрова исследованных регионов. То, что разнообразие почв Карелии оказалось больше, чем почв Московской области, объясняется тем, что в среднем масштабе отражается разнообразие почвообразующих пород Карелии, которое выше, чем в Московской области. Кроме того, на карте Карелии отражены антропогенно-трансформированные почвы, которые отсутствуют в легенде карты Московской области.

Индексы разнообразия, полученные на основании анализа КМК, оказались выше в Карелии, чем в Московской области и Дагестане. Следует отметить, что эти индексы не вполне достоверны, поскольку были получены для небольших участков, которые относились к конкретным почвенным ландшафтам с различным уровнем педоразнообразия. В одном регионе могут встречаться участки с разным уровнем таксономического богатства почв и ровностью распределения их площадей, что и определяют оценку почвенного разнообразия. Мы рекомендуем в каждом регионе

использовать для анализа несколько КМК, отражающих разные почвенные ландшафты.

Использование двух классификационных систем выявило единый тренд независимо от объекта и масштаба исследования: более низкие значения почвенного разнообразия в случае использования системы WRB, что соответствует структуре классификации, ее задачам и объектам: почвы России и почвы мира.

Картографирование почвенного разнообразия позволяет выделить различающиеся по пространственной организации почвенные ландшафты. Создание подобных карт в мелком масштабе может послужить основой для уточнения границ для почвенно-географического районирования.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 17-17-01293 “Многоуровневые региональные почвенно-географические модели как основа устойчивого управления почвенными ресурсами”.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алябина И.О.* Картографическая оценка разнообразия почв России // Вестник Моск. ун-та. Сер. 17, почвоведение. 2018. № 1. С. 8–15. <https://doi.org/10.3103/S0147687418010015>
2. *Алябина И.О., Болдырева В.Э., Голозубов О.М., Литвинов Ю.А., Минаева Е.Н., Пулин А.В.* Цифровая среднemasштабная почвенная карта Московского региона. М., 2019.
3. *Герасимова М.И., Ананко Т.В., Савицкая Н.В.* Разработка подходов к введению антропогенно-измененных почв в содержание почвенной карты Российской Федерации (на примере Московской области) // Почвоведение. 2020. № 1. С. 19–30. <https://doi.org/10.1134/S0032180X20010086>
4. *Гумматов Н.Г., Жиромский С.В., Мироненко Е.В., Пачепский Я.А., Щербаков Р.А.* Геостатистический анализ пространственной изменчивости водоудерживающей способности серой лесной почвы // Почвоведение. 1992. № 6. С. 52–62.
5. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
6. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 223 с.
7. *Козлов Д.Н., Сорокина Н.П.* Традиции и инновации в крупномасштабной почвенной картографии // Цифровая почвенная картография: теоретические и экспериментальные исследования. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2012. С. 35–57.
8. *Красильников П.В.* Вариография дискретных почвенных свойств // Экология и география почв. Петрозаводск: Ин-т биологии КарНЦ РАН, 2009. С. 10–29.
9. *Красильников П.В., Герасимова М.И., Голованов Д.Л., Конюшкова М.В., Сидорова В.А., Сорокин А.С.* Поч-

- венное разнообразие и его значение в контексте современной географии почв // Почвоведение. 2018. № 1. С. 3–16.
<https://doi.org/10.7868/S0032180X17010014>
10. Красильников П.В., Лантратова И.М., Старр М. Количественная оценка почвенного разнообразия Фенноскандии // Экологические функции почв Восточной Фенноскандии / Под ред. Зверевой Т.С. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2000. С. 108–123.
 11. Красильников П.В., Таргульян В.О. На пути к “новой географии почв”: вызовы и решения (обзор) // Почвоведение. 2019. № 2. С. 131–139.
<https://doi.org/10.1134/S0032180X19020096>
 12. Молчанов Э.Н., Можарова Н.В., Стасюк Н.В. Почвенная карта Дагестанской АССР. М-б 1 : 300000 / Под ред. Добровольского Г.В. М., 1987.
 13. Полевой определитель почв России. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева. 2008. 182 с.
 14. Почвенная карта РСФСР масштаба 1 : 2500000 / Под ред. Фридланда В.М. М.: ГУГК, 1988. 16 листов.
 15. Смирнова М.А., Геннадиев А.Н. Количественная оценка почвенного разнообразия: теория и методы исследования (обзор) // Вестник Моск. ун-та. Сер. 5, география. 2017. № 4. С. 3–11.
 16. Смирнова М.А., Геннадиев А.Н. Количественная оценка почвенного разнообразия Российской Арктики и Субарктики (по картографическим данным) // Почвоведение. 2019. № 1. С. 43–52.
<https://doi.org/10.1134/S0032180X19010143>
 17. Соколов И.А., Таргульян В.О. Взаимодействие почвы и среды: рефлекторность и сенсорность почвы // Вопросы географии. 1977. № 104. С. 153–170.
 18. Сорокина Н.П., Козлов Д.Н. Возможности цифрового картографирования структуры почвенного покрова // Почвоведение. 2009. № 2. С. 198–210.
<https://doi.org/10.1134/S1064229309020094>
 19. Costantini E.A.C., L'Abate G. Beyond the concept of dominant soil: Preserving pedodiversity in upscaling soil maps // Geoderma. 2016. V. 271. № 1. P. 243–253.
 20. Gerasimova M.I., Golovleva I.A., Konyushkova M.V., Sorokin A.S., Krasilnikov P.V. Assessment of soil diversity using soil maps with different scales in Eastern Fennoscandia, Russia // Geoderma Regional. 2020. V. 21 (e00274). P. 1–7.
 21. Ibañez J.J., De-Alba S., Bermúdez F.F., García-Álvarez A. Pedodiversity: concepts and measures // Catena. 1995. V. 24. № 3. P. 215–232.
 22. IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome, 2014. 181 p.
 23. Krasilnikov P.V. Metodología de la geografía de suelos // Geografía de Suelos de México. Tomo I. México, D.F.: UNAM, 2011. P. 133–145.
 24. Krasilnikov P.V., Sidorova V.A. Pedodiversity and spatial variation in digital soil mapping // Global Soil Map – Digital Soil Mapping from Country to Globe / Eds. Arrouays D. et al. CRC Press, 2017. P. 75–80.
 25. McBratney A.B., Mendonça Santos M.L., Minasny B. On digital soil mapping // Geoderma. 2003. V. 117. № 1–2. P. 3–52.
 26. McBratney A.B., Odeh I.O.A., Bishop T.F.A., Dunbar M.S., Shatar T.M. An overview of pedometric techniques for use in soil survey // Geoderma. 2000. V. 97. P. 293–327.
 27. Saldana A., Ibañez J.J., Zinck J.A. Soilscape analysis at different scales using pattern indices in the Jarama-Henares interfluvium and Henares River valley, Central Spain // Geomorphology. 2011. V. 135. № 3–4. P. 284–294.
 28. Zhu A.X., Hudson B., Burt J., Lubich K., Simonson D. Soil mapping using GIS, expert knowledge, and fuzzy logic // Soil Sci. Soc. Am. J. 2001. V. 65. №. 5. P. 1463–1472.

Diversity and Spatial Organization of Soil Cover at Different Map Scales

P. V. Krasilnikov^{1,2,*}, M. I. Gerasimova¹, D. L. Golovanov¹, Yu. A. Golovleva¹,
 M. V. Konyushkova¹, V. A. Sidorova², and A. S. Sorokin¹

¹Lomonosov Moscow State University, Moscow, 119991 Russia

²Institute of Biology, Karelian Research Centre RAS, Petrozavodsk, 185910 Russia

*e-mail: krasilnikov@ecfs.msu.ru

We summarized the results of studies of pedodiversity, contrast and variability of soil properties by analysing maps of different scales of the Republics of Karelia and Dagestan and the Moscow region. We used fragments of the soil map of the Russian Federation on a scale of 1 : 2500000 as a small-scale map and three different maps on a scale from 1 : 300000 to 1 : 500000 as a medium-scale map. Large-scale maps (1 : 10000) were compiled for representative plots within the studied territories specifically for the study of pedodiversity. All maps were digitized, map legends were converted to the new Russian soil classification and the World Reference Base for Soil Resources (WRB), and Shannon–Wiener diversity indices were calculated. Comparison of indicators revealed the dependence of the values of the diversity indices on the map scale. The indicators for the large-scale map were relatively low and did not differ much when using Russian and international classification. We concluded that for the successful assessment of soil diversity at different scales, it is important to use several large-scale maps that reflect the heterogeneity of the region's soils. Natural boundaries between soils and soil regions can be found using the pedodiversity index map. In almost all cases, maps with a WRB-based legend had lower indicators of pedodiversity than maps with a legend based on the Russian soil classification. This confirms the fact that the international classification is less detailed than the Russian national classification, which was originally intended for large-scale mapping of soils.

Keywords: pedometrics, soil maps, European territory of Russia, soil classification, Karelia, Moscow region, Dagestan