
ГЕНЕЗИС
И ГЕОГРАФИЯ ПОЧВ

УДК 631.47

ОЦЕНКА СВЯЗИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОЧВЕННЫХ ГОРИЗОНТОВ С КЛИМАТИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ

© 2014 г. И. О. Алябина¹, И. М. Неданчук²

¹Факультет почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова, 119991, Москва, Ленинские горы
e-mail: alio@yandex.ru

²ОАО “Росстройизыскания”, 129090, Москва, Б. Балканский пер., 20, стр. 1
e-mail: in_ned@mail.ru

Поступила в редакцию 28.03.2013 г.

Изучали влияние 15-и показателей атмосферного и почвенного климата на распространение на равнинной территории России 12-и почвенных генетических горизонтов (гумусовых, элювиальных, иллювиальных, метаморфических). Количественная оценка рассчитана методом ранговой корреляции. Исходный массив данных подготовлен с использованием цифровых карт в ГИС Map-Info. Анализ полученных результатов позволил ранжировать климатические параметры по степени воздействия на формирование горизонтов. Наиболее значимыми оказались разность осадков и испаряемости, испарение, валовое увлажнение — климатические характеристики, отражающие перераспределение влаги под влиянием температурных факторов. Наименьшая теснота связи с распространением почвенных горизонтов получена для показателя — глубина проникновения температур выше 10°C в почву.

Ключевые слова: экология почв, геоинформационные системы, метод ранговой корреляции, равнинная территория России.

DOI: 10.7868/S0032180X14080012

Вопрос о закономерных соотношениях между важнейшими почвообразователями и самими почвами, установление которых, по выражению Докучаева, “может открыть почвоведу новые горизонты”, позволить “предсказывать почвы” [17, с. 479], рассматривается факторной экологией почв. Место этой дисциплины в системе наук о почве широко обсуждается в последние годы. Согласно Добровольскому и Никитину [15], факторная экология почв — это один из взаимосвязанных блоков в интегральной экологии почв. Алифанов и Гугалинская [1] выделяют в экологическом направлении почвоведения три раздела и предлагают за одним из них, занимающимся исследованием взаимоотношений почв с факторами почвообразования, закрепить сложившееся название “экология почв”. По мнению Дергачевой [14], учение о внешних связях, или факторная экология почв, — это один из трех разделов экологии почв, которая является, в свою очередь, самостоятельной наукой биосферного класса, возникшей не в недрах почвоведения или экологии, а в недрах учения о биосфере.

Несмотря на продолжающееся в литературе обсуждение понятийных и терминологических вопросов, суть этого особенного направления в

почвоведении, разработанного и детально рассмотренного в трудах Волобуева и Соколова [10, 11, 34, 35], остается неизменной. Факторная экология почв (или “экология почв” по Волобуеву и Соколову) — это учение о закономерных соотношениях почв и почвообразователей, связующее звено между учением о генезисе почв и географией почв. Одним из способов установления общих законов этой дисциплины является обобщение почвенно-географических закономерностей с учетом как можно большего числа показателей. Такую возможность одновременного учета значительного объема почвенной информации и других природных характеристик дают геоинформационные системы (ГИС). Широкое использование ГИС послужило толчком для разработки новых методов в экологии почв, рассматривающей почвы в многокоординатном экологическом пространстве, сформированном факторами почвообразования [33, 36]. Технологии ГИС позволяют устанавливать количественные связи между почвой и почвообразователями, что является важнейшей задачей почвоведения.

Геоинформационные системы применяются в почвоведении и, более широко, экологических исследованиях для решения различных задач. В

настоящее время можно выделить пять основных направлений использования ГИС в науке о почве. Во-первых, это компьютерная инвентаризация почв и почвенного покрова, дополняющая и существенно расширяющая возможности традиционной инвентаризации, использующая, наряду с другими материалами, данные дистанционного зондирования. Ярким примером является применение ГИС для создания и функционирования картографического блока Почвенно-географической базы данных России [31, 41, 50]. Вторым направлением является визуализация информации, касающейся почвенных свойств, почвенных режимов, условий почвообразования и т.п. Визуализируемые характеристики могут непосредственно содержаться на современных информативных картах, а также могут быть вторичными, получаемыми или рассчитываемыми на основании первичных данных [2, 7, 9, 21, 22]. ГИС-анализ, активно используемый специалистами, представляет собой третье направление применения компьютерных технологий. Это сопряженный анализ свойств компонентов природных экосистем, географических характеристик, параметров природопользования и т.д., результатом которого являются не только карты показателей, выраженных в абсолютных единицах измерения [25, 42], но и карты экспертных оценок различных свойств почв или экосистем [3, 8, 32]. Четвертое направление применения ГИС – картографическое моделирование или построение прогнозных пространственных и временных карт почвенного покрова, отдельных почвенных показателей, природных факторов и их свойств [13, 24, 44, 47, 48]. К этому направлению относятся многочисленные публикации в области цифровой почвенной картографии, основы которой изложены в работе [45]. Пятым направлением, открывающим широкие возможности для исследователей, можно считать использование геоинформационных систем в целях подготовки пространственно распределенных данных для дальнейшей обработки различными методами в других программных продуктах [4, 6, 8, 16]. В настоящей статье представлены результаты обработки массива данных, полученного с помощью ГИС.

Целью работы являлось установление количественной зависимости между климатическими параметрами и распространением почвенных генетических горизонтов на равнинной территории России. Климат как фактор почвообразования интересен тем, что он определяет наиболее общие закономерности в почвенно-географическом пространстве, кроме того, известно пространственное распространение (существуют карты) большого числа климатических параметров.

Представление о почвенных горизонтах как об основной структурной единице почвенного покрова в пространстве, на уровне которых проте-

кают важнейшие почвообразующие процессы, получило широкое распространение в отечественной и зарубежной науке [12, 37, 43, 49]. В последние годы, благодаря развитию ГИС, компьютерные технологии используются в ходе совместного изучения почвенной информации и факторных характеристик, для построения ареалов почвенных горизонтов [5, 27, 39], а также составленных из отдельных горизонтов моделей почвенного покрова [24], в том числе трехмерных [46]. По выражению Тонконогова [38], представления исследователя о горизонтах более объективны, чем о почвах; ареалы генетических горизонтов несут более точную информацию об их связи с факторами почвообразования, чем ареалы почв. А сопоставление одного из почвообразующих факторов с распространением горизонтов является инструментом установления причинно-следственной связи между ними.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Для получения исходного массива данных использована единая цифровая картографическая основа (покрытие), образованная путем объединения цифровой версии Почвенной карты РСФСР масштаба 1 : 2500000 [28] и цифровой Карты почвенно-экологического районирования Российской Федерации того же масштаба [18]. Горные территории, показанные на карте почвенно-экологического районирования как горные провинции, в работе не учитывали (рис. 1). Каждый контур цифровой почвенной карты содержит информацию о почвенном покрове (может включать до четырех почв и почвенных комплексов) и почвообразующих породах. В ходе проведения расчетов учитывали только тип основной почвы или первый компонент почвенного комплекса, занимающие большую часть площади полигона, и не принимали во внимание сопутствующие почвы и остальные компоненты комплекса.

Из полученного картографического покрытия на основе данных о строении профилей почв выделили ареалы почвенных горизонтов. На первом этапе при построении ареалов использовали перечень горизонтов почвенных типологических единиц, приведенный в пояснительной записке к “Почвенной карте” [29]. Далее набор горизонтов, используемых при анализе, был скорректирован по классификации 2004 г. [19]. В итоге были получены ареалы следующих групп почвенных горизонтов: гумусовые (серогумусовый – АУ, темногоумусовый – АУ, светлогумусовый – АЖ); элювиальные (подзолистый – Е, элювиальный – ЕЛ, гумусово-элювиальный – АЕЛ); иллювиальные (альфегумусовый – ВНФ, текстурный – ВТ, солонцовый – БSN); метаморфические (структурно-метаморфический – ВМ, ксерометаморфический – ВМК, палеометаморфический – ВРЛ).

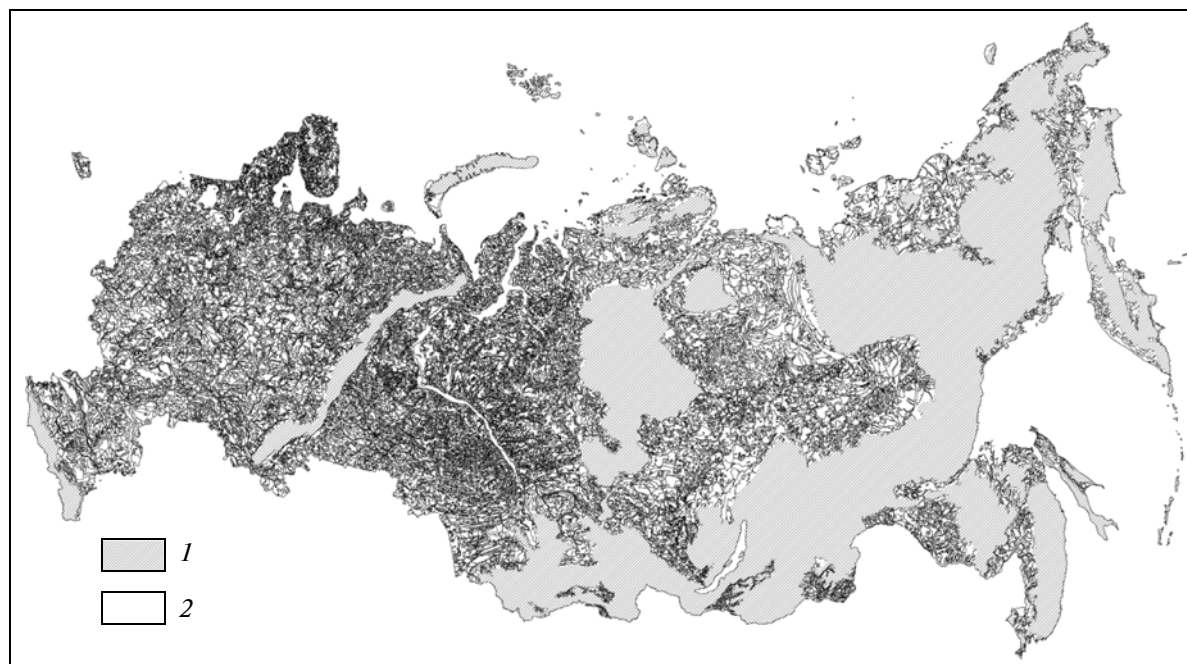


Рис. 1. Цифровое покрытие на равнинную территорию России (1 – горные территории; 2 – озера и водохранилища).

Ареалы горизонтов (рис. 2) включают от 280 до 3232 контуров.

В работе использовали показатели атмосферного и почвенного климата: температурные (всего 10); собственно влажностные, характеризующие поступление влаги (количество осадков за год, количество осадков теплого периода); а также влажностные, учитывающие перераспределение влаги под влиянием температурных параметров (испарение, разность осадков и испаряемости, валовое увлажнение территории¹). Информация о климатических параметрах получена со следующих цифровых карт²: почвенно-экологического районирования [18]; валового увлажнения территории; количества осадков. Информация о климатических параметрах получена со следующих цифровых карт: почвенно-экологического районирования [18]; валового увлажнения территории; количества осадков теплого периода; разности осадков и испаряемости; испарения с поверхности суши [20, 40] и цифровых моделей: суммы температур выше 10°C в почве на глубине 20 см; суммы температур ниже 0°C в почве на глубине 20 см;

¹ Характеризует ресурсы почвенной влаги, рассчитанные по комплексному, дифференцированному уравнению водного баланса как сумма подземной составляющей речного стока и испарения или, для районов недостаточного увлажнения, как разность атмосферных осадков и поверхностной составляющей речного стока [40].

² Подробно процедура выделения ареалов и расчета климатических параметров описана в [26].

глубина проникновения температур выше 10°C в почву; продолжительность периода с температурой выше 10°C в почве на глубине 20 см; средняя годовая температура почвы на глубине 20 см [30].

Равнинные провинции на карте почвенно-экологического районирования и полигоны картографических моделей параметров температурного режима почв охарактеризованы средним значением соответствующих климатических показателей. На картах из атласов [20, 40] параметры приведены в виде числовых диапазонов, поэтому для каждого полигона этих карт рассчитаны средние арифметические величины климатических показателей. Далее значения всех климатических параметров были пересчитаны методом средневзвешенного (по площади) на единое цифровое картографическое покрытие – векторный слой с почвенной информацией.

Полученное в ГИС картографическое покрытие на равнинную территорию России состоит из 19729 полигонов. Каждый полигон связан с набором атрибутивной информации, включающей символьные поля (преобладающая почва, почвообразующая порода), логические поля (присутствует или отсутствует в профиле почвы горизонт – всего 12), числовые поля (значения климатических параметров – всего 15, площадь контура в абсолютных единицах, площадь контура в процентах от площади равнинной территории России, площадь контура в процентах от площади ареала горизонта). Этот первичный массив данных и был использован для дальнейшей обработ-

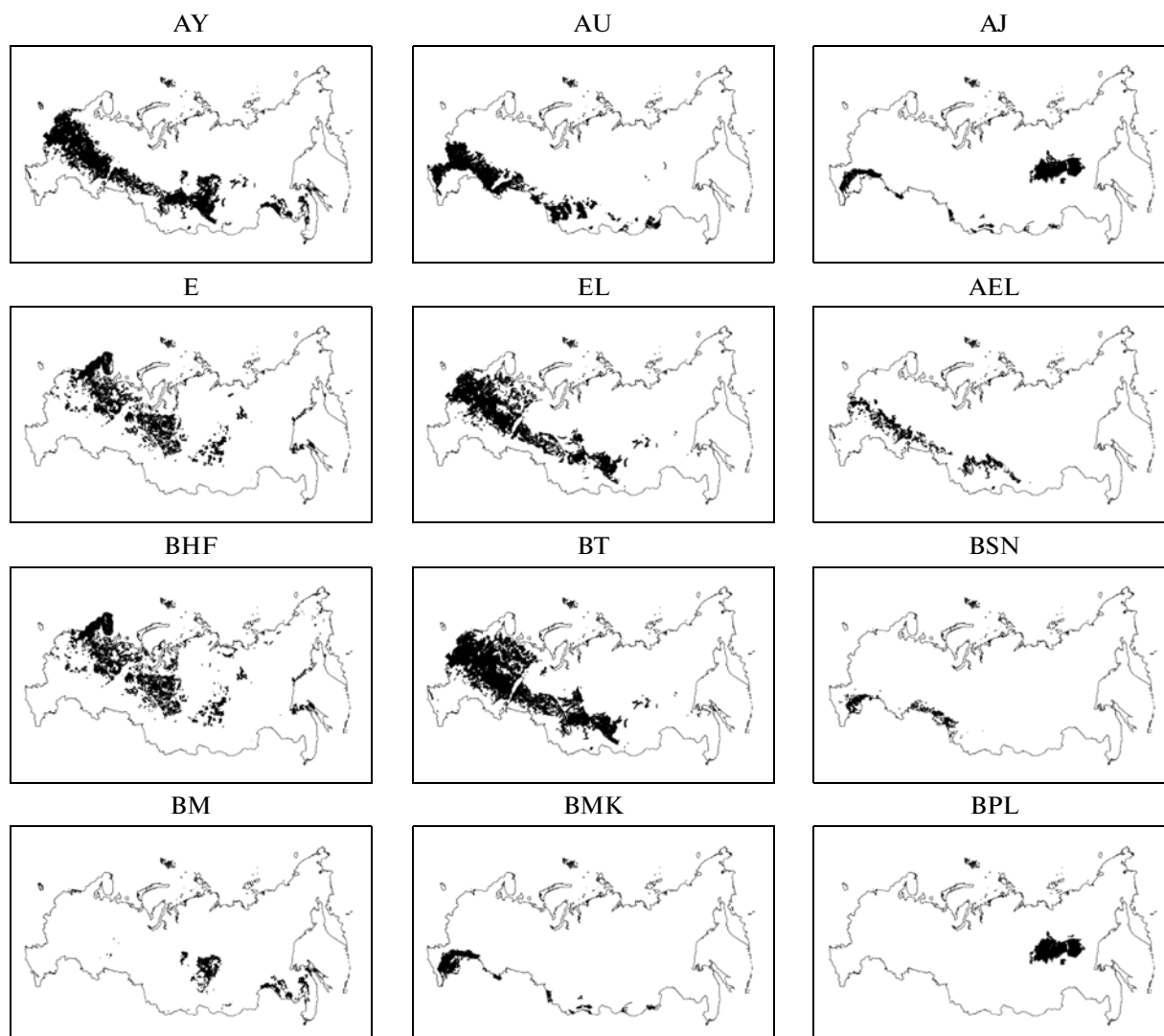


Рис. 2. Ареалы почвенных горизонтов на равнинной территории России.

ки. Факторно-картографический анализ и расчеты проводили по программам MapInfo, Microsoft Excel, Stadia.

Для установления количественной взаимосвязи между климатическими параметрами и распространением почвенных горизонтов был использован метод ранговой корреляции. Предварительная проверка характера распределения данных показала отсутствие нормального распределения, что послужило причиной выбора непараметрического метода анализа. Для каждого горизонта получены выборки данных, включающие от 280 до 3232 пар значений (в зависимости от количества контуров в ареале горизонта). Одна величина — это значения климатического параметра, которые он принимает в отдельных контурах ареала горизонта, а вторая — площадь горизонта (в процентах от всего ареала), приходящаяся на эти контуры. В результате обработки данных рас-

считаны коэффициенты ранговой корреляции r Спирмена, являющиеся непараметрическим аналогом коэффициента корреляции, нормальная аппроксимация (Z -статистика) и уровень значимости P гипотезы о равенстве нулю коэффициента корреляции (нулевая гипотеза принимается, если $P > 0.05$). Метод Спирмена, анализируя тенденцию связи переменных, принимает во внимание не только факты близости или различия пар наблюдений, но и осуществляет количественный учет степени различий тесноты связи переменных по Z -статистике и величине уровня значимости [23].

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Анализ полученных статистических данных показал разную степень влияния климатических параметров на распространение горизонтов, что

позволило выявить наиболее важные из них, а также определить параметры, влияние которых на распространение горизонтов либо отсутствовало, либо проявлялось редко.

Группа гумусовых горизонтов. В этой группе связь с наибольшим количеством параметров была установлена для темногомусового горизонта, с наименьшим числом характеристик — для серогумусового (табл. 1). Для всех трех горизонтов приоритетным оказался параметр испарение, а также была выявлена их положительная связь с рядом температурных показателей, в частности, средней температурой июля, средней годовой температурой почвы на глубине 20 см, продолжительностью периода с температурой воздуха выше 10°C, суммами температур воздуха выше 10°C, продолжительностью безморозного периода. Различия проявились в отношении распространения гумусовых горизонтов и климатических характеристик, связанных с увлажнением. Для серогумусового горизонта установлена положительная корреляция со всеми такими параметрами, что может свидетельствовать о первоочередном влиянии условий увлажнения на формирование горизонта. Для темногомусового и светлогумусового горизонтов обнаружено отсутствие связи с количеством осадков за год, а связь с осадками теплого периода оказалась отрицательной. Также для темногомусового горизонта получена отрицательная связь с разностью осадков и испаряемости. Такие результаты характеризуют более засушливые условия формирования этого горизонта. Для светлогумусового горизонта какие-либо выводы делать не совсем корректно, поскольку ареал этого горизонта, выделенный по [19], как было показано [26], объединяет два разных по условиям формирования, генезису и, видимо, морфологическим свойствам горизонта, которые неправомерно рассматривать как единое природное тело.

Группа элювиальных горизонтов. Данные оценки корреляции ареалов элювиальных горизонтов с рассмотренными климатическими характеристиками приведены в табл. 2. В этой группе наиболее значимым показателем оказалась разность осадков и испаряемости, а также выявлена положительная корреляция всех трех горизонтов со следующими параметрами: валовое увлажнение, испарение, средняя годовая температура почвы на глубине 20 см. Для гумусово-элювиального горизонта из 15-и изученных параметров установлена положительная связь с 12-ю. Отсутствие корреляции выявлено только с суммами отрицательных температур в почве, глубиной проникновения активных температур в почву и параметром, характеризующим основное поступление влаги в почву, — годовым количеством осадков. Причем наиболее тесная связь наблюдается с валовым увлажнением, испарением и разностью осадков и испаряемости. Очевидно,

для формирования горизонта важно именно соотношение тепла и влаги, а приоритетными являются температурные характеристики. Для элювиального горизонта выявлена связь с 8-ю показателями, а наиболее тесная также с валовым увлажнением, испарением и разностью осадков и испаряемости. С суммами температур выше 10°C в почве установлена отрицательная корреляция. Отсутствие связи между распространением горизонта и большим числом температурных параметров указывает на меньшую степень влияния температурных условий на формирование горизонта и преимущественное влияние влажностных параметров. Метод ранговой корреляции показал наличие взаимосвязи между распространением подзолистого горизонта и основными температурными параметрами, причем с суммами температур воздуха выше 10°C и суммами температур выше 10°C в почве, продолжительностью периода с температурой выше 10°C в почве и периода с температурой воздуха выше 10°C связь отрицательная, а суммами отрицательных температур в почве и средней годовой температурой почвы — положительная. Это может свидетельствовать о наиболее холодных условиях формирования подзолистого горизонта в этой группе.

Группа иллювиальных горизонтов. Из результатов ранговой корреляции для этой группы горизонтов (табл. 3) следует, что приоритетным климатическим показателем является разность осадков и испаряемости. Для солонцового горизонта установлена положительная связь с 13-ю параметрами, в число которых входят все температурные показатели, за исключением сумм отрицательных температур в почве. Кроме того, не получена корреляция с количеством осадков за год. Наиболее значимой оказалась связь с испарением, разностью осадков и испаряемости, валовым увлажнением. Те же параметры являются приоритетными и для текстурного горизонта. Полученные данные указывают на отсутствие связи между распространением текстурного горизонта и значениями температурных параметров атмосферного климата, за исключением средних температур июля и января. Большее влияние на его распространение оказывают значения температурных параметров почвенного климата (положительная корреляция со среднегодовой температурой почвы и суммами отрицательных температур в почве, отрицательная — с продолжительностью периода с активными температурами в почве и суммами активных температур в почве). Интересные результаты получены для альфегумусового горизонта. Из 8-и показателей, с которыми установлено наличие корреляции, только с разностью осадков и испаряемости, а также суммами отрицательных температур в почве связь положительная, с остальными — отрицательная. Эти параметры характеризуют термические условия: продолжительность

Таблица 1. Данные оценки корреляции для гумусовых горизонтов

Параметр	<i>r</i>	<i>Z</i>	<i>P</i>	Корреляция
AY				
Разность осадков и испаряемости	0.40	10.98	0	Есть
Валовое увлажнение	0.49	10.86	0	»
Испарение	0.49	10.60	0	»
Средняя температура июля	0.48	3.59	0.00	»
Средняя годовая температура почвы на глубине 20 см	0.62	3.51	0.00	»
Количество осадков за год	0.49	3.29	0.00	»
Продолжительность периода с температурой воздуха выше 10°C	0.43	2.89	0.00	»
Количество осадков теплого периода	0.11	2.37	0.01	»
Продолжительность безморозного периода	0.29	2.03	0.02	»
Суммы температур воздуха выше 10°C	0.25	1.84	0.03	»
Глубина проникновения температур выше 10°C в почву	0.34	1.63	0.05	Нет
Продолжительность периода с температурой выше 10°C в почве на глубине 20 см	0.17	1.43	0.08	»
Средняя температура января	0.14	1.02	0.15	»
Суммы температур ниже 0°C в почве на глубине 20 см	0.11	0.72	0.23	»
Суммы температур выше 10°C в почве на глубине 20 см	0.09	0.64	0.26	»
AU				
Испарение	0.47	10.15	0	Есть
Валовое увлажнение	0.39	8.54	0	»
Средняя температура июля	0.69	5.56	0.00	»
Продолжительность периода с температурой воздуха выше 10°C	0.68	4.87	0.00	»
Суммы температур воздуха выше 10°C	0.57	4.51	0.00	»
Разность осадков и испаряемости	-0.16	-4.44	0.00	»
Средняя годовая температура почвы на глубине 20 см	0.74	4.37	0.00	»
Суммы температур выше 10°C в почве на глубине 20 см	0.53	3.79	0.00	»
Продолжительность периода с температурой выше 10°C в почве на глубине 20 см	0.43	3.72	0.00	»
Продолжительность безморозного периода	0.47	3.43	0.00	»
Количество осадков теплого периода	-0.15	-3.33	0.00	»
Средняя температура января	0.33	2.36	0.01	»
Глубина проникновения температур выше 10°C в почву	0.37	1.77	0.04	»
Количество осадков за год	0.06	0.40	0.34	Нет
Суммы температур ниже 0°C в почве на глубине 20 см	0.03	0.16	0.44	»
AJ				
Испарение	0.26	5.44	0.00	Есть
Средняя температура июля	0.67	5.43	0.00	»
Суммы температур воздуха выше 10°C	0.53	4.12	0.00	»
Средняя годовая температура почвы на глубине 20 см	0.65	3.70	0.00	»
Продолжительность периода с температурой воздуха выше 10°C	0.51	3.46	0.00	»
Количество осадков теплого периода	-0.15	-3.29	0.00	»
Суммы температур выше 10°C в почве на глубине 20 см	0.46	3.24	0.00	»
Продолжительность безморозного периода	0.44	3.15	0.00	»
Валовое увлажнение	0.15	3.13	0.00	»
Средняя температура января	0.30	2.13	0.02	»
Разность осадков и испаряемости	0.08	2.08	0.02	»
Количество осадков за год	-0.12	-0.77	0.22	Нет
Продолжительность периода с температурой выше 10°C в почве на глубине 20 см	0.08	0.62	0.27	»
Суммы температур ниже 0°C в почве на глубине 20 см	0.06	0.37	0.36	»
Глубина проникновения температур выше 10°C в почву	0.01	0.05	0.48	»

Таблица 2. Данные оценки корреляции для элювиальных горизонтов

Параметр	<i>r</i>	<i>Z</i>	<i>P</i>	Корреляция
Е				
Разность осадков и испаряемости	0.52	14.89	0	Есть
Суммы температур воздуха выше 10°C	−0.49	−3.74	0.00	»
Суммы температур выше 10°C в почве на глубине 20 см	−0.51	−3.65	0.00	»
Валовое увлажнение	0.15	3.32	0.00	»
Количество осадков за год	0.45	3.00	0.00	»
Суммы температур ниже 0°C в почве на глубине 20 см	0.44	2.95	0.00	»
Испарение	0.13	2.78	0.00	»
Продолжительность периода с температурой выше 10°C в почве на глубине 20 см	−0.30	−2.48	0.01	»
Продолжительность периода с температурой воздуха выше 10°C	−0.36	−2.35	0.01	»
Средняя годовая температура почвы на глубине 20 см	0.32	1.69	0.05	»
Количество осадков теплого периода	0.07	1.63	0.05	Нет
Средняя температура января	0.18	1.31	0.09	»
Глубина проникновения температур выше 10°C в почву	−0.20	−0.96	0.17	»
Продолжительность безморозного периода	−0.07	−0.51	0.30	»
Средняя температура июля	−0.05	−0.36	0.36	»
EL				
Разность осадков и испаряемости	0.51	14.40	0	Есть
Валовое увлажнение	0.46	10.15	0	»
Испарение	0.47	10.12	0	»
Количество осадков за год	0.54	3.66	0.00	»
Суммы температур выше 10°C в почве на глубине 20 см	−0.37	−2.56	0.01	»
Средняя годовая температура почвы на глубине 20 см	0.43	2.34	0.01	»
Количество осадков теплого периода	0.10	2.21	0.01	»
Суммы температур ниже 0°C в почве на глубине 20 см	0.34	2.20	0.01	»
Средняя температура июля	0.20	1.45	0.07	Нет
Средняя температура января	0.20	1.45	0.07	»
Продолжительность периода с температурой выше 10°C в почве на глубине 20 см	−0.15	−1.25	0.11	»
Суммы температур воздуха выше 10°C	−0.17	−1.24	0.11	»
Глубина проникновения температур выше 10°C в почву	0.16	0.77	0.22	»
Продолжительность безморозного периода	0.08	0.55	0.29	»
Продолжительность периода с температурой воздуха выше 10°C	0.00	0.03	0.49	»
AEL				
Валовое увлажнение	0.45	10.01	0	Есть
Испарение	0.44	9.38	0	»
Разность осадков и испаряемости	0.32	8.75	0	»
Средняя температура июля	0.54	4.15	0.00	»
Средняя годовая температура почвы на глубине 20 см	0.67	3.89	0.00	»
Продолжительность периода с температурой воздуха выше 10°C	0.53	3.61	0.00	»
Суммы температур воздуха выше 10°C	0.39	2.97	0.00	»
Продолжительность безморозного периода	0.36	2.55	0.01	»
Средняя температура января	0.34	2.46	0.01	»
Продолжительность периода с температурой выше 10°C в почве на глубине 20 см	0.26	2.21	0.01	»
Количество осадков теплого периода	0.10	2.18	0.01	»
Суммы температур выше 10°C в почве на глубине 20 см	0.27	1.88	0.03	»
Количество осадков за год	0.25	1.60	0.06	Нет
Суммы температур ниже 0°C в почве на глубине 20 см	0.19	1.23	0.11	»
Глубина проникновения температур выше 10°C в почву	0.25	1.18	0.12	»

Таблица 3. Данные оценки корреляции для иллювиальных горизонтов

Параметр	<i>r</i>	<i>Z</i>	<i>P</i>	Корреляция
ВНФ				
Разность осадков и испаряемости	0.53	14.99	0	Есть
Продолжительность периода с температурой выше 10°C в почве на глубине 20 см	−0.66	−6.09	0.00	»
Суммы температур воздуха выше 10°C	−0.57	−4.54	0.00	»
Суммы температур выше 10°C в почве на глубине 20 см	−0.54	−3.92	0.00	»
Продолжительность периода с температурой воздуха выше 10°C	−0.52	−3.48	0.00	»
Продолжительность безморозного периода	−0.44	−3.18	0.00	»
Суммы температур ниже 0°C в почве на глубине 20 см	0.40	2.67	0.00	»
Средняя температура июля	−0.33	−2.45	0.01	»
Глубина проникновения температур выше 10°C в почву	−0.33	−1.56	0.06	Нет
Испарение	0.06	1.27	0.10	»
Валовое увлажнение	0.06	1.18	0.12	»
Количество осадков за год	0.18	1.17	0.12	»
Количество осадков теплого периода	−0.05	−1.13	0.13	»
Средняя температура января	−0.10	−0.74	0.23	»
Средняя годовая температура почвы на глубине 20 см	0.01	0.05	0.48	»
ВТ				
Разность осадков и испаряемости	0.48	13.53	0	Есть
Валовое увлажнение	0.44	9.79	0	»
Испарение	0.46	9.79	0	»
Количество осадков за год	0.57	3.90	0.00	»
Средняя годовая температура почвы на глубине 20 см	0.61	3.44	0.00	»
Суммы температур ниже 0°C в почве на глубине 20 см	0.37	2.43	0.01	»
Продолжительность периода с температурой выше 10°C в почве на глубине 20 см	−0.28	−2.34	0.01	»
Средняя температура июля	0.29	2.13	0.02	»
Средняя температура января	0.27	1.93	0.03	»
Суммы температур выше 10°C в почве на глубине 20 см	−0.27	−1.86	0.03	»
Количество осадков теплого периода	0.06	1.38	0.08	Нет
Продолжительность безморозного периода	0.18	1.23	0.11	»
Продолжительность периода с температурой воздуха выше 10°C	0.17	1.11	0.13	»
Глубина проникновения температур выше 10°C в почву	0.21	1.00	0.16	»
Суммы температур воздуха выше 10°C	−0.04	−0.33	0.37	»
BSN				
Испарение	0.41	8.84	0	Есть
Разность осадков и испаряемости	0.31	8.64	0	»
Валовое увлажнение	0.30	6.56	0.00	»
Средняя температура июля	0.72	5.94	0.00	»
Суммы температур воздуха выше 10°C	0.68	5.66	0.00	»
Продолжительность периода с температурой воздуха выше 10°C	0.69	4.95	0.00	»
Суммы температур выше 10°C в почве на глубине 20 см	0.61	4.53	0.00	»
Продолжительность безморозного периода	0.57	4.20	0.00	»
Средняя годовая температура почвы на глубине 20 см	0.70	4.06	0.00	»
Средняя температура января	0.48	3.53	0.00	»
Продолжительность периода с температурой выше 10°C в почве на глубине 20 см	0.39	3.34	0.00	»
Количество осадков теплого периода	0.10	2.27	0.01	»
Глубина проникновения температур выше 10°C в почву	0.37	1.80	0.04	»
Суммы температур ниже 0°C в почве на глубине 20 см	0.09	0.57	0.29	Нет
Количество осадков за год	−0.02	−0.14	0.44	»

Таблица 4. Данные оценки корреляции для метаморфических горизонтов

Параметр	<i>r</i>	<i>Z</i>	<i>P</i>	Корреляция
ВМ				
Разность осадков и испаряемости	0.45	12.69	0	Есть
Валовое увлажнение	0.45	9.96	0	»
Испарение	0.36	7.66	0	»
Количество осадков теплого периода	0.28	6.22	0.00	»
Средняя температура июля	0.43	3.20	0.00	»
Средняя годовая температура почвы на глубине 20 см	0.52	2.87	0.00	»
Количество осадков за год	0.39	2.56	0.01	»
Продолжительность безморозного периода	0.29	2.04	0.02	»
Продолжительность периода с температурой воздуха выше 10°C	0.30	1.94	0.03	»
Суммы температур воздуха выше 10°C	0.26	1.94	0.03	»
Глубина проникновения температур выше 10°C в почву	0.34	1.63	0.05	Нет
Продолжительность периода с температурой выше 10°C в почве на глубине 20 см	0.15	1.24	0.11	»
Средняя температура января	0.10	0.71	0.24	»
Суммы температур выше 10°C в почве на глубине 20 см	0.10	0.69	0.24	»
Суммы температур ниже 0°C в почве на глубине 20 см	0.08	0.49	0.31	»
ВМК				
Испарение	0.39	8.23	0	Есть
Средняя температура июля	0.74	6.20	0.00	»
Валовое увлажнение	0.26	5.53	0.00	»
Суммы температур воздуха выше 10°C	0.67	5.52	0.00	»
Средняя годовая температура почвы на глубине 20 см	0.82	5.17	0.00	»
Суммы температур выше 10°C в почве на глубине 20 см	0.66	4.97	0.00	»
Продолжительность периода с температурой воздуха выше 10°C	0.67	4.80	0.00	»
Разность осадков и испаряемости	0.18	4.79	0.00	»
Продолжительность безморозного периода	0.60	4.47	0.00	»
Продолжительность периода с температурой выше 10°C в почве на глубине 20 см	0.50	4.30	0.00	»
Средняя температура января	0.43	3.14	0.00	»
Количество осадков теплого периода	-0.14	-3.05	0.00	»
Глубина проникновения температур выше 10°C в почву	0.28	1.34	0.09	Нет
Суммы температур ниже 0°C в почве на глубине 20 см	0.15	0.98	0.16	»
Количество осадков за год	-0.13	-0.81	0.21	»
ВРЛ				
Разность осадков и испаряемости	0.42	11.67	0	Есть
Испарение	0.27	5.55	0.00	»
Валовое увлажнение	0.24	5.21	0.00	»
Количество осадков теплого периода	0.16	3.58	0.00	»
Средняя температура июля	0.42	3.10	0.00	»
Суммы температур воздуха выше 10°C	0.35	2.65	0.00	»
Суммы температур ниже 0°C в почве на глубине 20 см	0.39	2.57	0.01	»
Средняя температура января	0.35	2.52	0.01	»
Продолжительность безморозного периода	0.31	2.16	0.02	»
Количество осадков за год	0.32	2.10	0.02	»
Продолжительность периода с температурой воздуха выше 10°C	0.30	1.94	0.03	»
Суммы температур выше 10°C в почве на глубине 20 см	0.28	1.91	0.03	»
Средняя годовая температура почвы на глубине 20 см	0.25	1.30	0.10	Нет
Продолжительность периода с температурой выше 10°C в почве на глубине 20 см	-0.10	-0.83	0.20	»
Глубина проникновения температур выше 10°C в почву	0.08	0.35	0.36	»

Наибольшее влияние на распространение горизонтов**Z – 14.99**

Разность осадков и испаряемости, испарение, валовое увлажнение
Средняя температура июля, суммы температур воздуха выше 10°C, продолжительность периода с температурами воздуха выше 10°C, суммы температур выше 10°C в почве, среднегодовая температура почвы, количество осадков теплового периода, продолжительность безморозного периода
Продолжительность периода с температурами выше 10°C в почве, средняя температура января, количество осадков за год, суммы температур ниже 0°C в почве
Глубина проникновения температур выше 10°C в почву

Z – 0.05**Наименьшее влияние на распространение горизонтов****Рис. 3.** Оценка влияния климатических параметров.

периода с активными температурами в почве и суммы активных температур в почве, продолжительность периода с температурой воздуха выше 10°C и суммы этих температур, продолжительность безморозного периода и средняя температура июля. Данные статистического анализа полностью подтвердили результаты, полученные нами ранее методом сравнительных диаграмм [27], показавшим, что альфегумусовый горизонт развивается в широких диапазонах значений влажностных характеристик, и его распространение смещено в сторону низких значений температурных показателей. Все это позволяет говорить о слабом влиянии условий увлажнения и преобладающем влиянии термической составляющей климата на формирование этого горизонта.

Группа метаморфических горизонтов. В этой группе связь с наименьшим количеством параметров, с 10-ю, установлена для структурно-метаморфического горизонта, а для ксерометаморфического и палеометаморфического получена корреляция с 12-ю характеристиками (табл. 4). Анализ результатов показал, что из температурных параметров для горизонтов этой группы приоритетны показатели атмосферного климата: средняя температура июля, продолжительность безморозного периода, суммы активных температур воздуха и продолжительность периода с активными температурами воздуха; но наиболее тесная связь установлена с параметрами увлажнения. На распространение структурно-метаморфического и палеометаморфического горизонтов оказывают влияние все рассмотренные влажностные характеристики климата, а особенно значимы разность осадков и испаряемости, валовое увлажнение, испарение. Для ксерометаморфического горизонта установлено существенное воздействие показателей испарение и валовое увлажнение, а разность осадков и испаряемости оказалась менее приоритетной. Все остальные

параметры, для которых получена корреляция с распространением этого горизонта, незначительно различаются по величине Z (с количеством осадков теплового периода связь отрицательная), за исключением показателя средняя температура июля, теснота связи с которым несколько выше.

Полученные оценки влияния климатических параметров на формирование горизонтов основаны на сравнении карт распространения изучаемых характеристик. С одной стороны, это может привести к некоторым неопределенностям результатов, связанным с включением в работу карт разных масштабов и их исходным содержанием. Так, информация с почвенной карты использовалась в качестве фактического материала, то есть в работе анализировались почвенные контуры, а не принципы их выделения. С другой стороны, размер равнинной территории страны и количество полученных полигонов объединенной карты, то есть объем исходного массива данных (19729), дают возможность рассматривать результаты исследования как достоверные. Они позволяют охарактеризовать рассмотренные параметры атмосферного и почвенного климата по роли, которую они оказывают на формирование и распространение учтенных почвенных горизонтов (рис. 3).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате статистического анализа удалось ранжировать 15 изученных климатических параметров по тесноте связи с распространением 12-и генетических почвенных горизонтов. Установленную сопряженность рассматривали как степень влияния климатических показателей на формирование горизонтов. Наиболее значимыми оказались разность осадков и испаряемости, испарение, валовое увлажнение (Z до 14.99, 10.60, 10.86 соответственно при $P = 0$). Эти параметры, отражающие перераспределение влаги под влия-

нием температурных факторов, имеют наиболее тесную корреляцию с распространением горизонтов, проявляющуюся с разной интенсивностью и в разных сочетаниях практически всегда, за исключением альфегумусового горизонта, для которого установлена связь только с разностью осадков и испаряемости.

Для большинства горизонтов проявился приоритет средних температур июля, сумм и продолжительности периода активных температур воздуха, а также сумм активных температур в почве на глубине 20 см, среднегодовой температуры почвы на глубине 20 см и безморозного периода (отсутствует связь с двумя, тремя горизонтами из 12-и). Из параметров, непосредственно отвечающих за поступление влаги в почву, чаще осадки теплого периода бывают более значимыми (корреляция с 9-ю горизонтами), чем годовое количество осадков (установлена связь с 6-ю горизонтами). Также лишь для 5–7-и горизонтов получена корреляция с продолжительностью периода с активными температурами в почве на глубине 20 см, средней температурой января и суммами температур ниже 0°C в почве на глубине 20 см. Наименьшее влияние на распространение горизонтов оказывает показатель глубина проникновения температур выше 10°C в почву, для которого установлена связь только с темногумусовым и солонцовым горизонтами (Z около 1.8).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алифанов В.М., Гугалинская Л.А. Почвоведение и экология: понятийные и терминологические вопросы в российском почвоведении // Почвоведение. 2004. № 10. С. 1268–1272.
2. Алябина И.О. Дробность поверхностных пород // Национальный атлас почв Российской Федерации / Под ред. Шобы С.А. М.: Астрель–АСТ, 2011. С. 55.
3. Алябина И.О. Разнообразие почвенного покрова России: картографическая оценка // Роль почв в биосфере. Тр. Ин-та экологического почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова. М.: МАКС Пресс, 2012. Вып. 12. С. 70–77.
4. Алябина И.О., Богатырев Л.Г. Закрепление органического углерода и его запасы в почвенном покрове геохимических ландшафтов России // Геохимия ландшафтов и география почв (к 100-летию М.А. Глазовской). Докл. Всерос. науч. конф. М., 2012. С. 37–40.
5. Алябина И.О., Неданчук И.М. Расчет количественной связи между распространением почвенных горизонтов и климатическими параметрами // Матлы докладов VI съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева. Всерос. с международным участием науч. конф. “Почвы России: современное состояние, перспективы изучения и использования”. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2012. Кн. 3. С. 28–30.
6. Алябина И.О., Филенко А.Г. Оценка эффективности использования сельскохозяйственных земель административных районов Краснодарского края // Использование и охрана природных ресурсов в России. Информационно-аналитический бюллетень. М.: НИИ “Природные ресурсы”, 2012. № 1. С. 60–66.
7. Бирюкова О.Н., Бирюков М.В. Типы гумуса гумусово-аккумулятивных горизонтов почв // Национальный атлас почв Российской Федерации / Под ред. Шобы С.А. М.: Астрель: АСТ, 2011. С. 228–229.
8. Богатырев Л.Г., Алябина И.О. Поведение органического углерода в почвах // Национальный атлас почв Российской Федерации / Под ред. Шобы С.А. М.: Астрель: АСТ, 2011. С. 226–228.
9. Васильевская В.Д., Зборищук Ю.Н., Погожева Е.А. Устойчивость функционирования почв // Национальный атлас почв Российской Федерации / Под ред. Шобы С.А. М.: Астрель–АСТ, 2011. С. 256–257.
10. Волобуев В.Р. Почвы и климат. Баку: Изд-во АНАЗССР, 1953. 320 с.
11. Волобуев В.Р. Экология почв. Баку: Изд-во АНАЗССР, 1963. 260 с.
12. Герасимов И.П. Элементарные почвенные процессы как основа для генетической диагностики почв // Почвоведение. 1973. № 5. С. 102–113.
13. Герасимов М.И., Алябина И.О., Урусевская И.С., Шоба С.А., Таргульян В.О. Методические подходы к картографической оценке климата как фактора почвообразования // Вестник МГУ. Сер. 17, почвоведение. 2000. № 4. С. 9–14.
14. Дергачева М.И. Экология почв как наука биосферного класса // Биосфера–почвы–человечество: устойчивость и развитие. Мат-лы Всерос. науч. конф., посвящ. 80-летию профессора А.Н. Тюрканова. М.: Фонд “Инфосфера”–НИИ–Природа, 2011. С. 114–124.
15. Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Экология почв. Учение об экологических функциях почв. М.: Изд-во Моск. ун-та–Наука, 2006. 364 с.
16. Добровольский Г.В., Урусевская И.С., Алябина И.О. Агроклиматическая характеристика природно-сельскохозяйственных провинций равнинной территории России // Национальный атлас почв Российской Федерации / Под ред. Шобы С.А. М.: Астрель: АСТ, 2011. С. 284–285.
17. Докучаев В.В. Избр. тр. М.: Изд-во АН СССР, 1949. 643 с.
18. Карта почвенно-экологического районирования Российской Федерации. М 1 : 2500000 / Под ред. Добровольского Г.В., Урусевской И.С. М.: Талка+, 2013.
19. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена. 2004. 342 с.
20. Климатический атлас СССР. Т. I. М.: ГУГС, 1960.
21. Конюшков Д.Е., Ананко Т.В. Параметры водных режимов почв // Национальный атлас почв Российской Федерации / Под ред. Шобы С.А. М.: Астрель: АСТ, 2011. С. 210–213.
22. Кречетов П.П., Алябина И.О. Сорбционные функции почв // Национальный атлас почв Российской Федерации / Под ред. Шобы С.А. М.: Астрель: АСТ, 2011. С. 246–247.

23. Кулаицев А.П. Методы и средства анализа данных в среде Windows. STADIA. М.: Информатика и компьютеры, 2002. 341 с.
24. Маречек М.С., Алябина И.О., Шоба С.А. Почвенный покров центральной части Камчатки (ГИС-модель) // Почвоведение. 2009. № 11. С. 1283–1293.
25. Моисеев Б.Н., Алябина И.О. Оценка и картографирование составляющих углеродного и азотного балансов в основных биомех России // Изв. РАН. Сер. географическая. 2007. № 5. С. 1–12.
26. Неданчук И.М. Взаимосвязь климатических параметров с ареалами распространения почвенных генетических горизонтов равнинной территории России. Дис. ... канд. биол. наук. М., 2010. 125 с.
27. Неданчук И.М., Алябина И.О. Оценка влияния климатических параметров на распространение альфегумусового горизонта в почвах равнинной территории России // Почвоведение. 2010. № 9. С. 1051–1059.
28. Почвенная карта РСФСР / Под ред. Фридланда В.М. М 1 : 2500000. М.: ГУГК, 1988 (Скорректированная цифровая версия, 2007).
29. Почвенный покров и земельные ресурсы Российской Федерации / Под ред. Шишова Л.Л., Комова Н.В., Родина А.З., Фридланда В.М. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева РАСХН, 2001. 400 с.
30. Решоткин О.В., Алябина И.О., Худяков О.И., Гилинский Д.А. Средняя годовая температура почвы на глубине 20 см. М 1 : 60000000. Суммы температур выше 10°C в почве на глубине 20 см. М 1 : 60000000. Продолжительность периода с температурой выше 10°C в почве на глубине 20 см. М 1 : 60000000. Суммы температур ниже 0°C в почве на глубине 20 см. М 1 : 60000000. Глубина проникновения температур выше 10°C в почву. М 1 : 60000000. Глубина проникновения температуры 0°C в почву. М 1 : 60000000 // Национальный атлас почв Российской Федерации / Под ред. Шобы С.А. М.: Астрель: АСТ, 2011. С. 40–42.
31. Рожков В.А., Алябина И.О., Колесникова В.М., Молчанов Э.Н., Столбовой В.С., Шоба С.А. Почвенно-географическая база данных России // Почвоведение. 2010. № 1. С. 3–6.
32. Снакин В.В., Алябина И.О., Кречетов П.П. Экологическая оценка устойчивости почв к антропогенному воздействию // Изв. РАН. Сер. географическая. 1995. № 5. С. 50–57.
33. Соколов И.А. Об основных закономерностях экологии почв // Почвоведение. 1990. № 7. С. 117–128.
34. Соколов И.А. Об экологии почв // Проблемы почвоведения. М.: Наука, 1982. С. 103–107.
35. Соколов И.А. Теоретические проблемы генетического почвоведения. Новосибирск: Наука, 1993. 232 с.
36. Соколов И.А. Экология почв как раздел Докучаевского генетического почвоведения // Почвоведение. 1985. № 10. С. 5–12.
37. Таргульян В.О. Элементарные почвообразовательные процессы // Почвоведение. 2005. № 12. С. 1413–1422.
38. Тонконогов В.Д. Пространственно-генетические ряды горизонтов и профилей почв Русской и Западно-Сибирской равнин // Почвоведение. 2008. № 6. С. 645–654.
39. Урушевская И.С., Чернова О.В., Алябина И.О., Таргульян В.О. Почвенные горизонты // Национальный атлас почв Российской Федерации / Под ред. Шобы С.А. М.: Астрель: АСТ, 2011. С. 182–193.
40. Физико-географический атлас мира. М.: ГУГК, 1964.
41. Шоба С.А., Алябина И.О., Колесникова В.М., Молчанов Э.Н., Рожков В.А., Столбовой В.С., Урушевская И.С., Шеремет Б.В., Конюшков Д.Е. Почвенные ресурсы России. Почвенно-географическая база данных. М.: ГЕОС, 2010. 128 с.
42. Щенащенко Д.Г., Мухоморова Л.В., Швиденко А.З., Ведрова Э.Ф. Запасы органического углерода в почвах России // Почвоведение. 2013. № 2. С. 123–132.
43. Элементарные почвообразовательные процессы. М.: Наука, 1992. 184 с.
44. Caree Fl., McBratney A.B. Digital terrain mapping // Geoderma. 2005. V. 128. P. 340–353.
45. McBratney A.B., Mendonca-Santos M.L., Minasny B. On digital soil mapping // Geoderma. 2003. V. 117. P. 3–52.
46. Mendonça Santos M.L., Guenat C., Bouzelboudjen M., Golay F. Three-dimensional GIS cartography applied to the study of the spatial variation of soil horizons in a Swiss floodplain // Geoderma. 2000. V. 97. P. 351–366.
47. Moore I.D., Gessler P.E., Nielsen G.A., Peterson G.A. Soil attribute prediction using terrain analysis // Soil Science Society of Am. J. 1993. V. 57. P. 443–452.
48. Odeh I.O.A., McBratney A.B., Chittleborough D.J. Spatial prediction of soil properties from landform attributes derived from a digital elevation model // Geoderma. 1994. V. 63. P. 197–214.
49. Ruellan A. Vertisols: Some Research Avenues for their Management // In: Management of Vertisols for improved agricultural production: proceedings of an IBSRAM. Inaugural Workshop, ICRISAT Center, India, 1985. P. 83–85.
50. Shoba S.A., Rozhkov V.A., Alyabina I.O., Kolesnikova V.M., Urusevskaya I.S., Molchanov E.N., Stolbovoy V.S., Sheremet B.V., Konyushkov D.E. Soil Geographic Database of Russia // Handbook of Soil Science. Resource Management and Environmental Impacts. CRC Press, 2011. P. 31–1–31–18.