

## ГЕНЕЗИС И ГЕОГРАФИЯ ПОЧВ

УДК 631.4:528.92.94

# КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ВЫДЕЛЕНИЯ ЗОН И ФАЦИЙ АРЕАЛОВ РАСПРОСТРАНЕНИЯ КАШТАНОВЫХ ПОЧВ РОССИИ НА ОСНОВЕ КЛИМАТО-ПОЧВЕННО-ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО ПОКАЗАТЕЛЯ

© 2019 г. Д. И. Рухович<sup>1</sup> \*, Е. И. Панкова<sup>1</sup>, Н. В. Калинина<sup>1</sup>, Г. И. Черноусенко<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Россия, 119017, Москва, Пыжевский пер., 7, стр. 2

\*e-mail: landmap@yandex.ru

Поступила в редакцию 03.10.2017 г.

После доработки 16.05.2018 г.

Принята к публикации 26.09.2018 г.

Сделана попытка унификации выделения сухостепной зоны на количественной основе. В результате детального анализа карт районирования, растительности, земельных угодий, почвенной карты выведен новый показатель, позволяющий на количественном уровне определить границы сухостепной зоны России и добиться лучшей корреляции между предлагаемыми расчетными границами сухостепной зоны и картами растительности, земельных угодий и почвенной картой. За пределами Восточно-Европейской равнины сухостепная зона, с каштановыми почвами на различных картах районирования имеет разные границы. Основными факторами, определяющими расположение зон и фаций на картах районирования, являются климатические параметры: сумма активных температур, коэффициент увлажнения (КУ), коэффициент континентальности и др. Почвенным показателям – гранулометрическому составу и водно-физическим свойствам почв – отводится подчиненная роль. Показана необходимость введения для установления границы сухостепной зоны данных по гранулометрическому составу, водно-физическим, солонцовым свойствам почв, которые определяют глубину промачивания и запас продуктивной влаги и влияют вместе с суммой активных температур на развитие сухостепной растительности. Предлагаемый новый показатель – сумма превышения осадков над испаряемостью с учетом почвенно-гранулометрических поправок (СПОпг) – рассчитывается по количественным водно-физическим свойствам почв с учетом гранулометрического состава, солонцеватости и карбонатности. СПОпг при использовании совместно с суммой активных температур позволяет провести районирование области распространения каштановых почв на количественной основе и кроме границ сухостепной зоны выделить криоаридные территории (холодные полупустыни) и полупустынную зону распространения каштановых почв. Зоны и фации, определенные с использованием показателя СПОпг, хорошо соответствуют геоботаническим ассоциациям карт растительности и земельных угодий.

*Ключевые слова:* зонально-фациальное деление, каштановые почвы, сухостепная зона, криоаридные территории, коэффициент увлажнения, коэффициент континентальности, сумма активных температур, превышение осадков над испаряемостью, влагообеспеченность, гранулометрический состав, солонцеватость, мицеллярные формы карбонатов

**DOI:** 10.1134/S0032180X1901012X

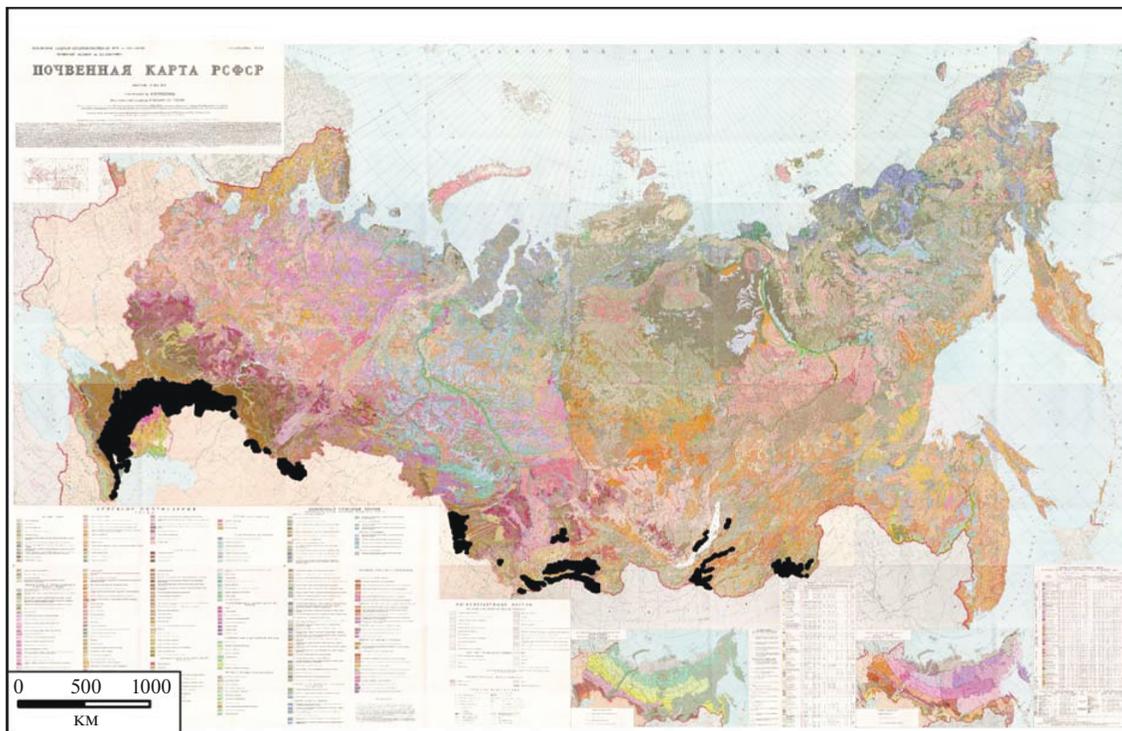
### ВВЕДЕНИЕ

Каштановые почвы России распространены на территориях, расположенных от 41.5° до 54.5° с. ш. и 41°–119° в. д., на высотах от 25 м ниже уровня моря до 2200 м выше уровня моря (рис. 1А) [25]. Их традиционно относятся к зоне сухих степей (рис. 1Б) [22, 27]. Принципы районирования территории России рассмотрены в ряде работ [2, 7, 12–16, 29, 30, 35]. Для европейской территории России карты с выделением природных зон (полос) известны с 1842 г. (Н. Киров, 1842, цит. по [16]). На территории Восточно-Ев-

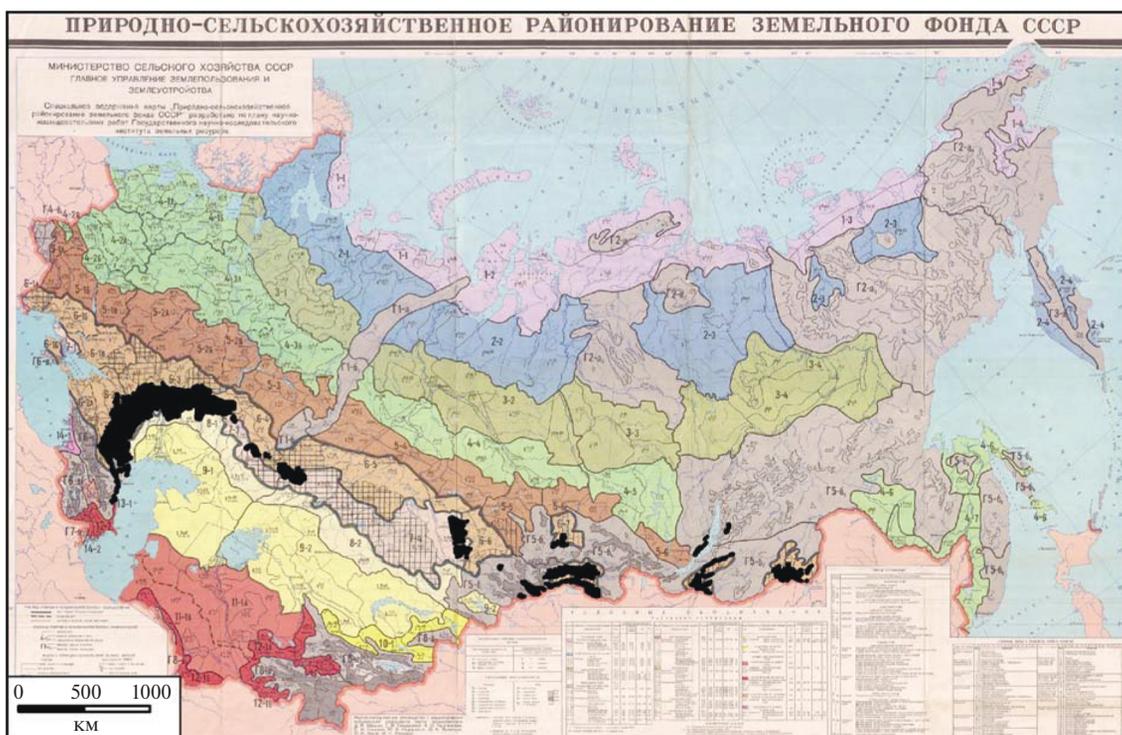
ропейской равнины расположение почвенных и растительных зон практически совпадает и четко увязывается с климатическими факторами. Это позволило В.В. Докучаеву в конце XIX в. открыть закон зонального распределения почв [14, 15].

При дальнейших исследованиях в работах по районированию было показано, что одни и те же зоны на Восточно-Европейской равнине и на востоке страны (на Западно-Сибирской равнине и в Восточной Сибири) сильно отличаются по природным условиям. Для описания этого явления, И.П. Герасимовым было предложено фациальное

А



Б



■ 1

Рис. 1. Каштановые почвы: А – на почвенной карте М 1 : 2500000 [25]; Б – на карте природно-сельскохозяйственного районирования СССР М 1 : 8000000 [27]. Контуры каштановых почв на обеих картах выделены темным цветом (1).

**Таблица 1.** Зональная принадлежность котловин Хакасии, Тувы и Алтая, выделенных на разных картах

Карты	Регион					
	Алтай		Хакасия	Тыва		
	котловины					
	Чуйская	Курайская	Южно- Минусинская	Центрально- Тувинская		Убсу- Нурская
Хемчикс- кая				Улуг- Хемская		
Карта природно-сельскохозяйственного районирования земельного фонда СССР. М 1 : 8 млн 1984 г.	—	—	С	С	С	С
Агроклиматическое районирование СССР. М 1 : 4 млн 1969 г.	—	—	СС	СС	СС	СС
Почвенно-экологическое районирование РСФСР. М 1 : 15 млн (карта-врезка к Почвенной карте РСФСР. М 1 : 2.5 млн 1988 г.)	—	—	С	С	С	СС
Карта почвенно-географического районирования СССР. М 1 : 8 млн 1986 г.	—	—	С	—	СС	—
Карта почвенно-экологического районирования РФ. М 1 : 2.5 млн 2013 г.	СС	СС	С	СС	СС	СС
Почвенно-географическое районирование. М 1 : 10 млн 1962 г.	—	—	С	СС	СС	—
Растительность СССР. М 1 : 4 млн 1990 г.	СС + ПП	СС + ПП	СС	СС	СС + ПП	СС + ПП
По СПОпг и сумме активных температур	КА	КА	СС	СС	КА	КА

Примечание. С – степная зона, СС – сухостепная зона, ПП – зона полупустыни, на карте растительности опустыненные и пустынные степи, КА – криоаридная (холодная полупустыня), прочерк – на карте не выделялась.

деление [7]. Фации, в отличие от зон, имеют не широтное, а меридиональное расположение – Восточноевропейская, Западносибирская, Восточносибирская. Зонально-фациальная система получила отражение в серии карт районирования и была оформлена в виде ГОСТа [11].

Для зоны сухой степи был проанализирован ряд карт районирования: агроклиматического [1], природно-сельскохозяйственного [27], почвенно-географического [19], почвенно-экологического [20] и др. Наибольшую известность, особенно среди практиков, получило природно-сельскохозяйственное районирование (рис. 1, Б), как имеющее прямое прикладное значение. Именно оно легло в основу сбора физико-химической информации о состоянии почвенного покрова России [34]. Было установлено, что на разных картах районирования границы сухостепной зоны в пределах Восточносибирской фации существенно различаются (табл. 1). Наложение почвенной карты на разные карты районирования показало, что каштановые почвы попадают в степную, сухостепную и полупустынную зоны. То же самое наблюдается при

сопоставлении почвенной [25] и геоботанических карт [6, 28], на которых растительность в ареалах каштановых почв может варьировать от степной до полупустынной. Несовпадение выделения зон и ареалов каштановых почв на почвенной, геоботанической картах и картах районирования, делает актуальной задачу унификации выделения сухостепной зоны на количественной основе с учетом климатических показателей и гранулометрического состава, который сильно влияет на свойства каштановых почв [24].

Цель работы – обосновать возможность использования предложенных нами количественных критериев для отнесения ареалов каштановых почв России к различным зонам и почвенно-климатическим фациям на основе учета как климатических характеристик, так и свойств почв.

#### ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Исследуется область распространения автоморфных каштановых почв согласно цифровой

почвенной карте масштаба 1 : 2500000 [25]. Всего проанализировано 475 контуров каштановых почв, включая темно-каштановые, каштановые и светло-каштановые подтипы.

Для анализа были использованы:

1. Почвенная карта РСФСР М 1 : 2.5 млн [25].
2. Карта природно-сельскохозяйственного районирования земельного фонда СССР М 1 : 8 млн [27].
3. Карта почвенно-географического районирования СССР М 1 : 8 млн [19].
4. Карта почвенно-географического районирования СССР (в связи с сельскохозяйственным использованием земель) М 1 : 10 млн [26].
5. Карта агроклиматического районирования СССР М 1 : 4 млн [1].
6. Агроэкологический атлас России и сопредельных стран [3].
7. Геоботаническая карта СССР М 1 : 4 млн [6].
8. Карта растительности СССР М 1 : 4 млн [28].
9. Государственная почвенная карта М 1 : 1 млн [33].
10. Карта земельных угодий СССР М 1 : 4 млн [17].
11. Карта почвенно-экологическое районирования РСФСР М 1 : 15 млн [25].
12. Карта почвенно-экологического районирования РФ М 1 : 2.5 млн [20].

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Поанализировано и сопоставлено соответствие контуров темно-каштановых, каштановых и светло-каштановых почв почвенной карты [25] с зонами и фациями карт районирования и карт растительности. Используются следующие методы и операции:

1. Картометрический.
2. Геореференсация – приведение картографических материалов в режим точного географического позиционирования. Все необходимые для исследования картографические материалы геореференсированы на основе топографической карты М 1 : 1000000, используемой в работе в растровом и векторном виде [31–33] (рис. 1).
3. Пересечение (intersect) карт между собой.
4. Объединение (dissolve) результатов пересечения по почвенным контурам и вычисление средних характеристик почвенного контура.
5. Вычисление новых характеристик для каждого узла регулярной решетки климатических параметров с использованием баз данных к регулярным сетям и картам. Климатические характеристики по регулярным сетям брались из “Агроэкологического атласа России и сопредельных стран” [3]. Расчет недостающих клима-

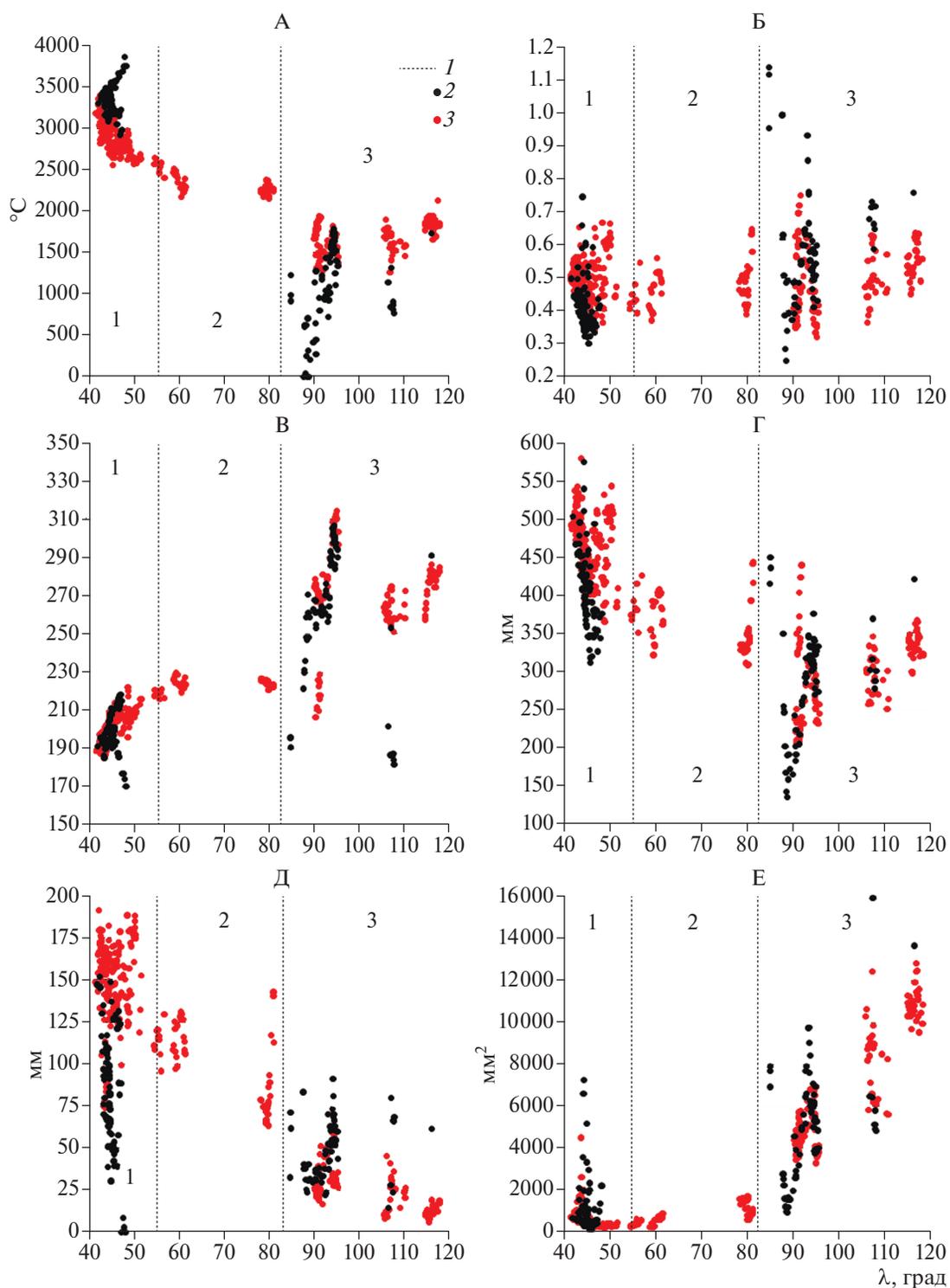
тических параметров велся по изложенным ранее методикам [36].

6. Картографически-графический анализ, состоящий из: 1) построения графиков зависимостей друг от друга различных характеристик (климатических, гранулометрических, почвенных); 2) выделения на графиках различных однородных областей; 3) отображение выделенных областей на тематических картах с последующим сопоставлением и анализом.

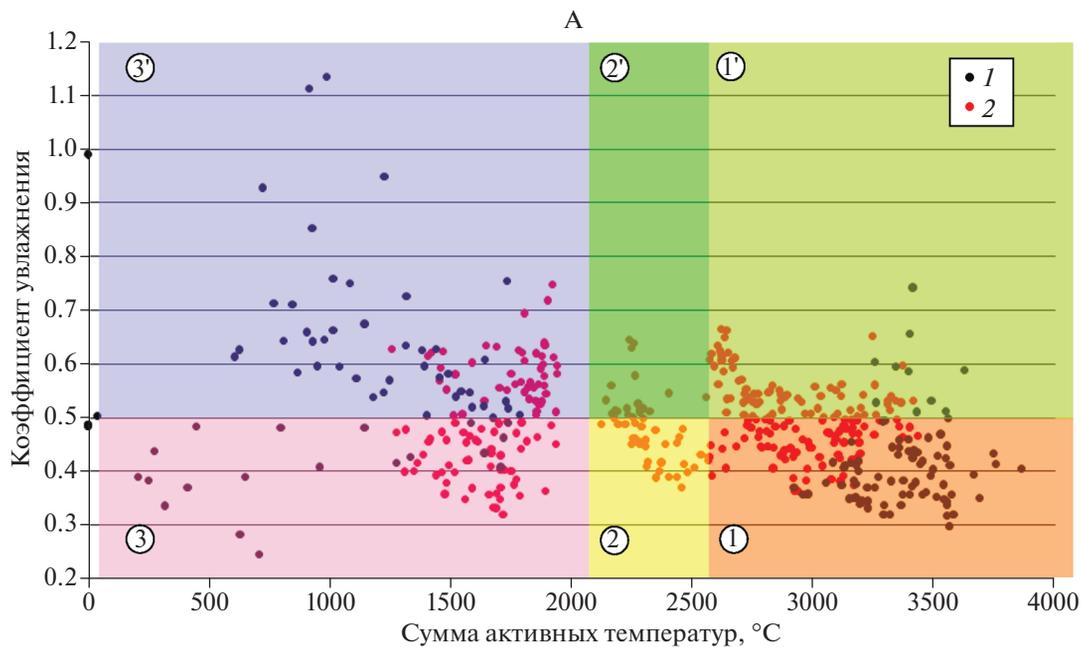
### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Известно, что климатические параметры являются основой количественных характеристик карт районирования. Однако при одних и тех же количественных климатических показателях ряд регионов на разных картах относится к разным зонам. Различия в зональной трактовке нарастают с запада на восток, достигая максимального расхождения в Хакасии и Туве (табл. 1). Распределение некоторых климатических параметров по долготе представлено на рис. 2 и 3. На этих же рисунках 475 контуров автоморфных каштановых почв почвенной карты [25] разделены на две группы. Одна группа – это контуры, совпадающие с сухой степью карты растительности [28], другая группа, не совпадающая с сухой степью. На рис. 2 даны графики зависимости климатических параметров от долготы центра контура каштановых почв. Хорошо видно, что почвенные контуры с сухостепной растительностью не составляют компактной области на этих графиках, что было бы логично для почвенно-климатической зоны. Можно предположить, что это связано с отсутствием количественного учета ряда почвенных свойств и недостаточной информативностью традиционных климатических параметров, как факторов, обуславливающих произрастания тех или иных видов растений. Для количественного учета почвенных свойств и новых климатических характеристик предлагается новый почвенно-климатический коэффициент.

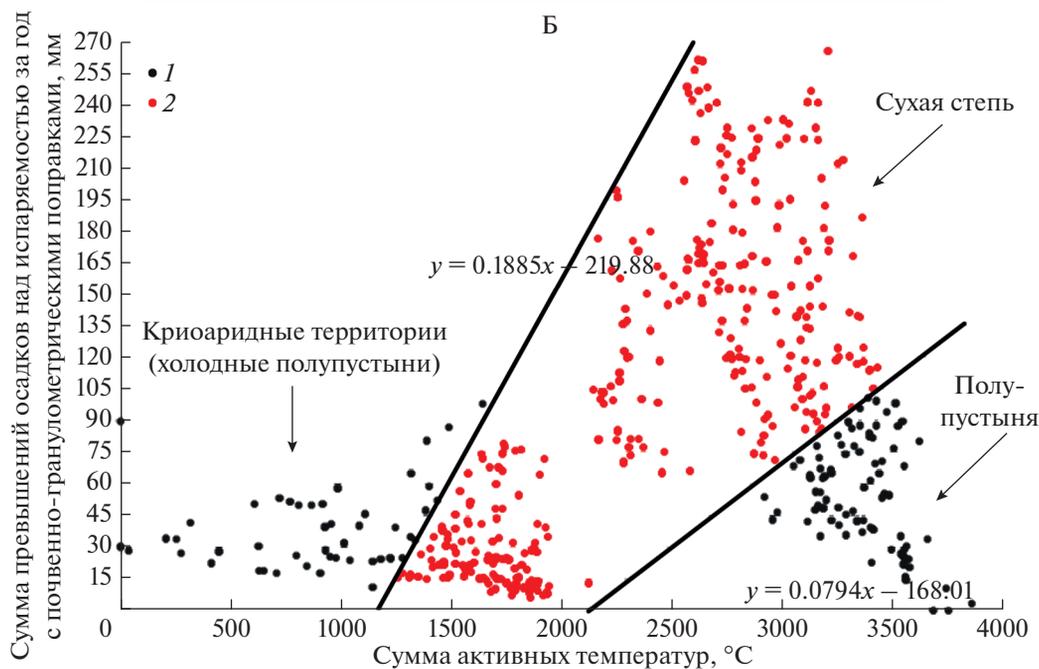
**Сумма превышения осадков над испаряемостью.** Вначале необходимо определить, какое количество влаги попадает в почву? Каштановые почвы располагаются в климатических зонах, где коэффициент увлажнения (КУ) ниже единицы. Большую часть года промачивания почвы не происходит – идет иссушение. Поэтому для растений особую важность приобретает та часть влаги, которая хотя бы временно при выпадении осадков превышает испаряемость. Именно эта часть осадков идет на влагозарядку – промачивание верхних почвенных горизонтов. Эту величину можно рассчитать, если выделить те месяцы года, где сумма выпавших осадков больше величины месячной испаряемости с открытой водной поверхностью. Разность между величиной осадков и испаряемостью за



**Рис. 2.** Зависимости среднегоголетних климатических характеристик 475 контуров автоморфных каштановых почв почвенной карты М 1 : 2500000 от долготы. Обозначения: 1 – границы фаций (цифры в квадратиках): 1 – Восточно-европейская, 2 – Западносибирская, 3 – Восточносибирская; 2 – контуры каштановых почв, не являющихся по геоботанической карте сухой степью; 3 – контуры каштановых почв, являющихся по геоботанической карте сухой степью;  $\lambda$  – долгота центров контуров каштановых почв. А – сумма активных температур,  $^{\circ}\text{C}$ ; Б – коэффициент увлажнения (КУ); В – коэффициент континентальности (КК); Г – годовая сумма осадков, мм; Д – сумма превышений осадков над испаряемостью за год (СПО), мм; Е – сумма квадратов отклонений осадков по месяцам от среднегоголетней среднемесячной величины осадков (неравномерность осадков).



Зоны	Фазии		
	Восточно-Европейская	Западно-Сибирская	Восточно-Сибирская
Степная	①'	②'	③'
Сухостепная	①	②	③



**Рис. 3.** Зависимости среднемноголетних значений коэффициента увлажнения (А) и СПОпг (Б) 475 контуров автомофных каштановых почв почвенной карты М 1 : 2500000 от суммы активных температур. Обозначения: 1 – контуры каштановых почв, не являющихся по геоботанической карте сухой степью; 2 – контуры каштановых почв, являющихся по геоботанической карте сухой степью.

**Таблица 2.** Рассчитанные величины глубины необходимого промачивания и почвенно-гранулометрического коэффициента влагозарядки (КВпг) по данным продуктивной влаги для различных подтипов каштановых почв разного гранулометрического состава

№	Подтипы каштановых почв	Гранулометрический состав каштановых почв	Примерный запас продуктивной влаги на начало вегетации, необходимый для вегетации (z), мм [по 23]	Продуктивная влага при наименьшей влагоемкости в метровом слое (p), мм [по 18]	Расчетная глубина необходимого промачивания, см (L)	КВпг
1	Темно-каштановые	Глинистый и тяжело-суглинистый	75	185.0	40.5	1.39
2	Темно-каштановые	Среднесуглинистый	75	188.0	39.9	1.40
3	Темно-каштановые	Легкосуглинистый	75	172.0	43.6	1.35
4	Темно-каштановые	Песчаный и супесчаный	75	117.0	64.1	1.07
5	Каштановые	Глинистый и тяжело-суглинистый	100	189.5	52.8	1.22
6	Каштановые	Среднесуглинистый	100	174.0	57.5	1.16
7	Каштановые	Легкосуглинистый	100	158.5	63.1	1.08
8	Каштановые	Песчаный и супесчаный	100	122.5	81.6	0.82
9	Светло-каштановые	Глинистый и тяжело-суглинистый	125	194.0	64.4	1.06
10	Светло-каштановые	Среднесуглинистый	125	160.0	78.1	0.87
11	Светло-каштановые	Легкосуглинистый	125	145.0	86.2	0.76
12	Светло-каштановые	Песчаный и супесчаный	125	128.0	97.7	0.60

эти месяцы можно суммировать и получить величину годового превышения осадков над испаряемостью — сумму превышения осадков над испаряемостью (СПО). СПО является среднемесячной суммой положительных значений месячных превышений осадков над испаряемостью. СПО значительно отличается от КУ, что показано на рис. 2 (Д и Б).

Однако только величина СПО не обеспечивает произрастание той или иной геоботанической ассоциации, так как при легком гранулометрическом составе растениям существенно сложнее использовать избыток влаги, который проваливается ниже корнеобитаемого слоя. Поэтому для выявления используемой растениями влаги в первую очередь необходимо учесть гранулометрический состав почв, для чего вводится почвенно-гранулометрический коэффициент влагозарядки (КВпг), который показывает относительную эффективность осадков при том или ином гранулометрическом составе.

**Расчет и анализ информативности почвенно-гранулометрического коэффициента влагозарядки (КВпг).** В табл. 2 показаны глубины промачивания каштановых почв различного гранулометри-

ческого состава, обеспечивающие одинаковую влагообеспеченность для вегетации растительности (Черепанов, 1992, цит. по [23]). Чем легче гранулометрический состав и меньше содержание гумуса в почве, тем глубже осадки должны промочить почву, чтобы создать одинаковую влагообеспеченность с почвами более тяжелого гранулометрического состава. В степной и сухостепной зонах основная корневая масса, обеспечивающая растения водой, находится в верхних горизонтах — в слое 0–20...0–60 см. Легкий гранулометрический состав при одной и той же величине СПО будет способствовать произрастанию более ксерофитной растительности. По нашим наблюдениям это и имеет место в Туве, на Алтае, а также на песках Приволжской гряды и в Дагестане.

Кроме глубины промачивания, большое влияние на произрастание растений оказывает запас продуктивной влаги. В табл. 2 приведены значения доступной влаги при наименьшей влагоемкости в зависимости от подтипа каштановой почвы и гранулометрического состава (Д.А. Карбышева, 1999, цит. по [18]). Из таблицы следует, что при одной и той же глубине промачивания на почвах разного гранулометрического состава растению будет доступно разное количество влаги.

Наибольшей биопродуктивностью [8–10] будут обладать почвы, обеспечивающие большой влагозапас продуктивной влаги в меньшем слое. Это можно считать своеобразным коэффициентом полезного действия осадков или относительной эффективностью осадков. Чем глубже проваливаются осадки, тем меньшую биологическую эффективность они имеют. Чем меньше продуктивной влаги в корнеобитаемом слое может удерживать почва, тем меньше ее биологическая эффективность.

Физически почвенно-гранулометрический коэффициент влагозарядки (КВпг), является функцией от глубины необходимого промачивания и величины продуктивной влаги:

$$\text{КВпг} = f(L, p).$$

КВпг вычисляется по формуле:

$$\text{КВпг} = Lc/L,$$

где  $L = z \left( \frac{100}{p} \right)$ ,  $L$  – глубина минимально-необходимого промачивания для достижения количества продуктивной влаги, необходимой для вегетации в мм;  $Lc$  – величина середины диапазона возможных значений  $L$ ;  $z$  – количество продуктивной влаги, необходимой для вегетации в мм;  $p$  – максимальный запас продуктивной влаги (при наименьшей влагоемкости) в метровом слое в мм.

Математически КВпг является величиной, на которую необходимо умножить величину середины диапазона значений глубин минимально необходимого промачивания ( $Lc$ ) для достижения расчетных необходимых глубин промачивания ( $L$ ). Для каштановых почв разного гранулометрического состава минимальная расчетная величина промачивания 39.9 см, максимальная 97.7 см. Следовательно,  $Lc = (97.7 - 39.9)/2 + 39.9 = 68.8$ , а  $\text{КВпг} = 68.8/L$ .

КВпг был вычислен для каждого из 475 контуров каштановых почв почвенной карты, как и сумма активных температур.

**Расчет и анализ информативности СПО и СПОпг – климато-почвенно-гранулометрического показателя.** Коэффициент КВпг необходим для вычисления доли СПО, которая может быть использована растениями в почвах разного гранулометрического состава. Вычисление СПО с учетом КВпг позволило разделить сухостепную и полупустынную зоны Восточносибирской фации, но при этом сохранились некоторые расхождения в Восточноевропейской фации, где наблюдается произвольное выделение почвенных контуров под сухостепной и полупустынной растительностью. Причина этого кроется в почвенном покрове. Детальный анализ почвенной карты [25] показал, что выделение полупустынной растительно-

сти на геоботанической карте в сухостепной зоне Восточноевропейской фации наблюдается исключительно при наличии в контурах каштановых почв сопутствующих солонцеватых почв и солонцов. Свойства солонцовых почв существенно снижают относительную эффективность почвенной влаги по отношению к зональному типу почвы. Анализ графиков СПО с поправкой на продуктивную влагу и глубину промачивания (полученный умножением СПО на КВпг) позволил выявить и установить снижение относительной эффективности почвенной влаги в 30% для солонцеватых почв и в 50% для солонцов.

Солонцовые свойства сдвигают свойства каштановых почв сухих степей в сторону полупустынных почв. Но есть свойства почв, которые сдвигают влагозарядку почв, а значит и растительный покров в обратную сторону – в степную зону. Этот фактор – мицелярная карбонатность в сочетании с мощностью гумусового горизонта, которая улучшает водно-физические свойства почв, хотя напрямую она не связана ни с типом почвы, ни с гранулометрическим составом. Каштановые мицелярно-карбонатные глубокие почвы по влагообеспеченности приближаются к черноземам. Фактор наличия мицелярной карбонатности графическим анализом также был учтен (табл. 3). С учетом мицелярной карбонатности и солонцеватости получен еще один коэффициент влагозарядки – КВпгсм, а с его учетом СПОпг.

Блок расчетов представлен уравнениями:

$$\text{СПО} = \sum_{i=1}^n (R - E),$$

$$\text{КВпг см} = \text{КВпг} \cdot s \cdot m,$$

$$\text{СПОпг} = \text{СПО} \cdot \text{КВпг см},$$

где СПО – сумма превышений осадков над испаряемостью (среднеголетняя сумма положительных значений месячных превышений осадков над испаряемостью), СПОпг – сумма превышений осадков над испаряемостью с поправкой на свойства почвы и гранулометрический состав, КВпг – коэффициент влагозарядки почвенно-гранулометрический (табл. 2); КВпгсм – коэффициент влагозарядки почвенно-гранулометрический с учетом солонцеватости и мицелярной карбонатности (табл. 3),  $R$  – месячная сумма осадков в мм;  $E$  – месячная испаряемость с открытой водной поверхности в мм;  $s$  – поправка на солонцеватость;  $m$  – поправка на мицелярную карбонатность;  $n$  – число месяцев в году, где  $R - E > 0$ ;  $i$  – месяц в году, где  $R - E > 0$ .

С учетом всех поправок на рис. 3Б представлен график зависимость распределения контуров каштановых почв России от суммы превышения осадков над испаряемостью с почвенно-грануло-

**Таблица 3.** Величины коэффициента влагозарядки с учетом гранулометрического состава, солонцеватости и карбонатности (КВпг см) для родов каштановых почв разного гранулометрического состава

Подтипы каштановых почв	Роды	Гранулометрический состав			
		глинистый и тяжело-суглинистый	среднесуглинистый	легко-суглинистый	песчаный и супесчаный
Темно-каштановые	Обычные	1.39	1.40	1.35	1.07
Каштановые		1.22	1.16	1.08	0.82
Светло-каштановые		1.06	0.87	0.76	0.60
Темно-каштановые	Мицелярно-карбонатные (глубокие)	1.61	1.60	—	—
Каштановые		—	1.40	—	—
Светло-каштановые		—	1.35	—	—
Темно-каштановые	Солонцеватые и солончаковатые (коэффициент обычных понижается на 30%)	0.97	0.98	0.95	—
Каштановые		0.85	0.81	—	—
Светло-каштановые		0.74	0.61	0.53	0.42
Темно-каштановые	Солонцеватые и солончаковатые в комплексе с солонцами (коэффициент обычных понижается на 50%)	0.70	0.70	0.68	—
Каштановые		0.61	0.58	—	—
Светло-каштановые		0.53	0.44	0.38	0.30

метрическими поправками (СПОпг) и суммы активных температур.

**Анализ распределения каштановых почв с учетом предложенного климато-почвенно-гранулометрического показателя (СПОпг) и суммы активных температур.** На рис. 3Б отображено 475 точек, соответствующих почвенным контурам каштановых почв почвенной карты [25]. Если выделить на графике все почвенные контуры, где растительность, согласно геоботанической карте, относится к сухим степям (красные точки), то получится монопольная область, ограниченная двумя прямыми:

$$y = 0.1885x - 219.88$$

и

$$y = 0.0794x - 168.01,$$

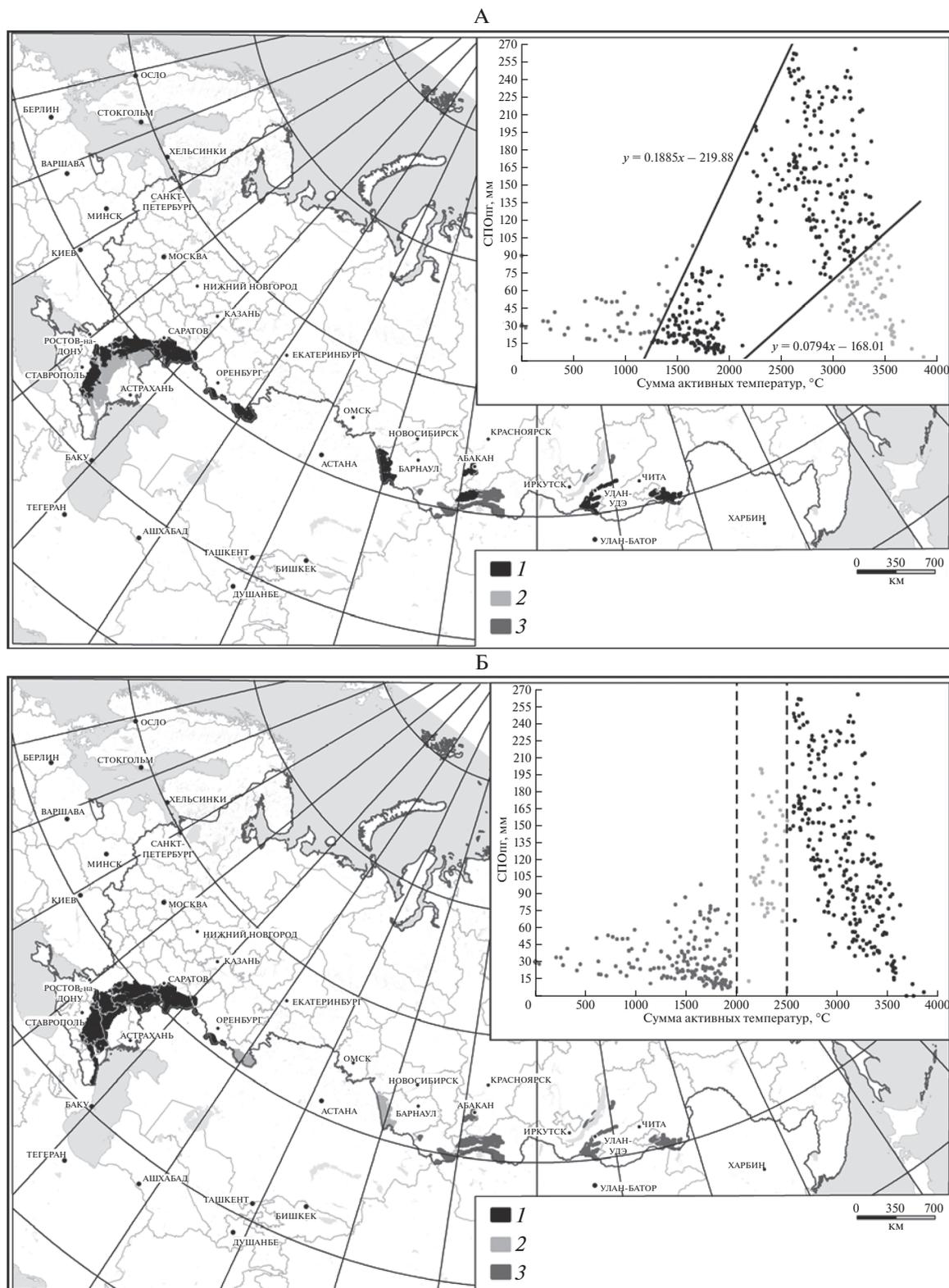
где  $x$  – сумма активных температур,  $y$  – СПОпг.

На всех рассмотренных ранее графиках с разными климатическими параметрами (рис. 2А–Е, 3А) сухая степь, выделенная на карте растительности, не формирует столь однородной области, а значит, не может быть выделена на количественном уровне. Это хорошо видно на графике зависимости КУ от суммы активных температур (рис. 3А). Контур с сухостепным, степным и полупустынным типом растительности (черные и красные точки) пересекаются. Следовательно, даже неплохо работающий КУ (рис. 2Б) не может количественно выделить зону сухих степей (рис. 3А).

На графике в координатах суммы активных температур и СПОпг (рис. 3Б) видно, что левее и правее зоны сухих степей имеется две группы

контуров каштановых почв. Если правее, в области высоких значений суммы активных температур вполне логично предположить их распространение в полупустыне, то левее, в области более низких значений суммы активных температур, каштановые почвы попадают в криоаридные территории с распространением криоаридных почв [4, 5]. В криоаридную группу контуров попали каштановые почвы Чуйской степи Алтайского края, часть каштановых почв Улугхемской котловины и ряд других. Криоаридные территории имеют значения СПОпг, близкие или равные полупустыням, но характеризуются низкими суммами активных температур, то есть это холодные сухие или опустыненные степи с каштановыми почвами или возможно криоаридными почвами, выделенными В.И. Волковинцером, а также в Классификации почв России 2004 г. [4, 5, 21]. Тип растительности этих территорий также полупустынный, но с разным видовым наполнением. Для отличия двух полупустынных, но совершенно разных территорий, на картах растительности вводится термин предгорные полупустыни для восточных регионов в противовес типичным опустыненным растительным сообществам западных регионов страны [28].

При перенесении трех зон графика (рис. 3Б) на почвенную карту М 1 : 2500000, получаем карту зонального деления территории распространения автомофных каштановых почв – рис. 4А, с выделением сухостепной, полупустынной зон, а также криоаридных территорий холодных полупустынь. Фации, выделенные по сумме активных температур, представлены на рис. 4Б. На картах ис-



**Рис. 4.** Зоны и фации распространения каштановых почв, полученные с использованием СПОпг и суммы активных температур. Обозначения: А – зоны распространения каштановых почв: 1 – сухостепная; 2 – полупустынная; 3 – криоаридная (зона холодных полупустынь); Б – фации распространения каштановых почв: 1 – Восточноевропейская; 2 – Западносибирская; 3 – Восточносибирская.

чезают противоречия между картами районирования и картой растительности. Сухая степь действительно занимает большую (южную) часть Хакасии и лишь часть котловин Тувы. Остальную часть Тувы занимают криоаридные территории (холодные полупустыни), которые на геоботанических картах выделены как предгорные полупустыни. В Восточноевропейской провинции контуры каштановых почв, выделившиеся на графике (рис. 3Б) правее, попадают в полупустынную зону.

**Сравнение результатов с ранее высказанной гипотезой по ранжированию факторов, определяющих биологическую продуктивность.** В монографии “Биоклиматический потенциал России: теория и практика” [8–10], дано ранжирование по порядку значимости различных факторов, определяющих биопродуктивность: солнечная радиация > температура > гранулометрический состав почв > рельеф > осадки > ветер > гидрологический режим > кислотность > солонцеватость > засоленность > водно-физические свойства > буферная способность почвы > емкость катионного обмена (ЕКО) > степень насыщенности основаниями > агрохимические свойства почв > вид растительности > людские ресурсы – социальная обстановка – человеческий фактор.

Из 15 факторов 8 относятся к климату, мелиорации, социологии и ботанике, а 7 – к свойствам почв. Гранулометрический состав является третьим по значимости фактором, важность которого была отмечена еще в работе В.В. Докучаева “О зональности в минеральном царстве” [15]. Ранжирование приведено как обобщающая гипотеза, которую в 2006 г. было сложно количественно просчитать. Расчеты факторов, формирующих расположение зон и фаций на территории распространения каштановых почв, выполненные в данной работе, подтвердили верность ранжирования 2006 г.

За пределами Восточно-Европейской равнины, обладающей уникальной однородностью гранулометрического состава на больших площадях с преобладанием среднего и тяжелого суглинков, климатические факторы не формируют сплошных протяженных природных зон, как территорий, обладающих близким биоклиматическим потенциалом. Более того, там, где гранулометрический состав становится легким, даже в Восточноевропейской фации природно-климатические зоны геоботанически не совпадают с климатическими параметрами, более ксерофитные виды продвигаются по почвам легкого гранулометрического состава севернее.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ и сравнение карт районирования (агроклиматического, природно-сельскохозяйственно-

го, почвенно-экологического и почвенно-географического) выявили существенные расхождения в зональной приуроченности каштановых почв, особенно за пределами Восточно-Европейской равнины, а также расхождения с реальными растительными сообществами и типами землепользования. К примеру, Улугхемская котловина Тувы относится на разных картах к степной, сухостепной или полупустынной зонам. Высказано предположение, что расхождения обусловлены отсутствием количественного учета почвенных свойств и неполным учетом климатических характеристик. Предлагается учитывать сумму превышения осадков над испаряемостью (СПО) – среднеголетнюю сумму положительных значений месячных превышений осадков над испаряемостью, так как лишь эта часть осадков идет на влагозарядку почв.

Предлагается придать большую значимость гранулометрическому составу почв, выделяя его на верхних таксономических уровнях районирования – зон и районов.

Почвы могут и должны учитываться при осуществлении зонально-фациального деления страны в виде количественных характеристик. Свойства почвенного покрова могут оказывать влияние не только как характеристики нижних таксономических уровней районирования, но и определять зональную принадлежность территорий. Зональная принадлежность может быть вычислена.

КУ для территории распространения каштановых почв не позволяет надежно выделить зоны и фации.

Вместо КУ предлагается интегральный показатель влагообеспеченности корнеобитаемого почвенного слоя. В качестве такого показателя предложена сумма превышения осадков над испаряемостью с почвенно-гранулометрическими поправками – СПО<sub>пг</sub>. Поправки выражаются почвенно-гранулометрическим коэффициентом влагозарядки, учитывающим гранулометрический состав, солонцеватость и мицелярную карбонатность каштановых почв – КВ<sub>пгсм</sub>.

СПО<sub>пг</sub> совместно с суммой активных температур позволил провести зональное разделение каштановых почв на сухостепную зону, полупустынную зону и криоаридные территории (зону холодных полупустынь). Выделенные зоны хорошо коррелируют с наземными геоботаническими данными и типом земельных угодий. СПО<sub>пг</sub> совместно с суммой активных температур также позволяет выделить 3 фации: Восточноевропейскую, Западносибирскую и Восточносибирскую. СПО<sub>пг</sub> является климато-почвенно-гранулометрическим показателем, заменяющим КУ для районирования территорий распространения каштановых почв.

## ВЫВОДЫ

1. Гранулометрический состав почв, тип и подтип почвы являются столь же значимыми факторами для выделения зон и фаций (агроклиматических, природно-сельскохозяйственных и почвенно-географических), как и климатические параметры, и могут быть выражены количественно.

2. Для каштановых почв предложен единый количественный климато-почвенно-гранулометрический показатель, определяющий совместно с суммой активных температур зонально-фациальную принадлежность почвенного контура, — среднесезонную сумму положительных значений месячных превышений осадков над испаряемостью с почвенно-гранулометрической поправкой (СПОпг).

3. СПОпг и сумма активных температур позволили впервые на количественном уровне, учитывая свойства почв, выделить 3 области, в которых распространены каштановые почвы: сухостепную и полупустынную зоны, а также криоаридные территории (холодные полупустыни).

**Благодарность.** Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты № 16-04-00570, 16-07-00891).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агроклиматическое районирование СССР. Масштаб 1 : 4000000. М.: ГУГК, 1969.
2. Агропроизводственная группировка почв (общие положения и принципы составления) / М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 1980. 45 с. (проект)
3. Агроэкологический атлас России и сопредельных стран: экономически значимые растения, их болезни, вредители и сорные растения [Электронный ресурс]. СПб., 2008 <http://www.agroatlas.ru/ru/index.html>.
4. Волковинцер В.И. Генетические особенности каштановых почв Горного Алтая. Автореф. дис. ... канд. биол. н. Новосибирск, 1965. 30 с.
5. Волковинцер В.И. Степные криоаридные почвы. Автореф. дис. ... докт. биол. н. М.: Новосибирск, 1979. 40 с.
6. Геоботаническая карта СССР. Масштаб 1 : 4000000. Л.: ГУГК, 1954.
7. Герасимов И.П. О почвенно-климатических фациях равнин СССР и прилегающих стран // Тр. Почвенного института АН СССР. Т. VIII. Л.: Изд-во АН СССР, 1933. Вып. 5. С. 1–38.
8. Гордеев А.В., Клещенко А.Д., Черняков Б.А., Сиротенко О.Д. Биоклиматический потенциал России: теория и практика / Под ред. А.В. Гордеева. М.: Т-во научных изданий КМК, 2006. 516 с.
9. Гордеев А.В., Клещенко А.Д., Черняков Б.А., Сиротенко О.Д., Темников В.Н., Усков И.Б., Зойдзе Е.К., Романенков В.А., Рухович Д.И. Биоклиматический потенциал России: методы мониторинга в условиях изменяющегося климата. М., 2007. 236 с.
10. Гордеев А.В., Клещенко А.Д., Черняков Б.А., Сиротенко О.Д., Темников В.Н., Усков И.Б., Романенков В.А., Рухович Д.И. Биоклиматический потенциал России: меры адаптации в условиях изменяющегося климата / Под ред. А.В. Гордеева. М., 2008. 206 с.
11. ГОСТ 16350-80. Климат СССР. Районирование и статистические параметры климатических факторов для технических целей. М.: Изд-во стандартов, 1981. 114 с.
12. Докучаев В.В. Избр. соч. в 3 т. Т. III. М.: Сельхозгиз, 1949. С. 317–329.
13. Докучаев В.В. Картография Русских почв. СПб.: Издание Департамента земледелия и сельской промышленности, 1879.
14. Докучаев В.В. Къ учению о зонахъ природы : Горизонтальныя и вертикальныя почвенныя зоны. СПб.: Типография Спб. Градоначальства, Миллионная. 1899. № 17.
15. Докучаев В.В. О зональности и минеральном царстве: предварительное сообщение // “Записки Императорского минералогического общества”. Вторая серия. Часть XXXVII. СПб., 1899. С. 145–158.
16. Докучаев В.В. Учение о зонах природы: сб. науч. тр. / Под ред. Ю.Г. Саушкина. М.: Географгиз, 1948. 64 с.
17. Земельные угодья СССР. Масштаб 1 : 4000000. М.: ГУГК, 1991.
18. Карпов Р.Х. Практикум по земледелию. Астана: КГУ, 2005. 240 с.
19. Карта почвенно-географического районирования СССР. Масштаб 1 : 8000000. М.: ГУГК, 1986.
20. Карта почвенно-экологического районирования Российской Федерации. Масштаб 1 : 2500000. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2013.
21. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
22. Классификация и диагностика СССР. М.: Колос, 1977. 221 с.
23. Основы устойчивого развития сельского хозяйства в засушливых зонах России <http://agro-archive.ru/adaptivnoe-rasteniievodstvo/2535-osnovy-ustoychivogo-razvitiya-selskogo-hozyaystva-v-zasushlyvyh-zonah-russii.html>.
24. Панкова Е.И., Черноусенко Г.И. Сопоставление каштановых почв Центральной Азии с их аналогами в других почвенно-географических провинциях сухостепной зоны суббореального пояса Евразии // Аридные экосистемы. 2018. Т. 24. № 2(75). С. 13–22.
25. Почвенная карта РСФСР. Масштаб 1 : 2500000. М.: ГУГК, 1988. (Цифровой вариант, Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, лаборатория информатики 1996 г.).
26. Почвенно-географическое районирование СССР (в связи с сельскохозяйственным использованием земель). М.: Изд-во: АН СССР, 1962. 424 с. <http://www.ecosystema.ru/08nature/soil/i13.htm>
27. Природно-сельскохозяйственное районирование земельного фонда СССР. Масштаб 1 : 8000000. М.: ГУГК, 1984.
28. Растительность СССР. Масштаб 1 : 4000000. М.: ГУГК, 1990.

29. Розов Н.Н. Принципы природного районирования СССР для целей сельскохозяйственного производства // Почвоведение. 1954. № 8. С. 1–16.
30. Розов Н.Н., Долгов С.И., Важенин И.Г., Добровольский Г.В., Летунов П.А. Почвенно-географическое и земельное районирование СССР // Вестник сельскохозяйственной науки. 1966. № 3. С. 55–72.
31. Рухович Д.И., Вагнер В.Б., Вильчевская Е.В., Калинина Н.В., Королева П.В. Проблемы использования цифровых тематических карт на территорию СССР при создании ГИС “Почвы России” // Почвоведение. 2011. № 9. С. 1043–1055.
32. Рухович Д.И., Королева П.В., Вильчевская Е.В., Калинина Н.В. Цифровая тематическая картография как смена доступных первоисточников и способов их использования // Цифровая почвенная картография: теоретические и экспериментальные исследования. М., 2012. С. 58–86.
33. Рухович Д.И., Королева П.В., Калинина Н.В., Вильчевская Е.В., Симакова М.С., Долинина Е.А., Рухович С.В. Государственная почвенная карта – версия ARC/INFO // Почвоведение. 2013. № 3. С. 251–267.
34. Физико-химические свойства почв сельскохозяйственных угодий и баланс гумуса на пашне Российской Федерации. Сб. / Под ред. А.К. Крылатова. М.: Русслит, 1996. 392 с.
35. Шашко Д.И. Агроклиматическое районирование СССР. М.: Колос, 1967. 336 с.
36. Rukhovich D.I., Koroleva P.V., Vilchevskaya E.V., Kolesnikova L.G., Romanenkov V.A. Constructing a spatially-resolved database for modelling soil organic carbon stocks of croplands in European Russia // Regional Environmental Change. 2007. V. 7. Iss. 2. P. 51–61.

## Quantitification of the Parameters of Zones and Facies of Chestnut Soils in Russia Basing on the Climatic-Soil-Textural Index

D. I. Rukhovich<sup>a,\*</sup>, E. I. Pankova<sup>a</sup>, N. V. Kalinina<sup>a</sup>, and G. I. Chernousenko<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Dokuchaev Soil Science Institute, per. Pyzhevskii 7, Moscow, 119017 Russia

\*e-mail: landmap@yandex.ru

This study is an attempt to quantify parameters taken into account in separation of the dry steppe soil zone. A detailed analysis of the maps of zoning, vegetation, land use, and soils has made it possible to suggest quantitative criteria of the dry steppe soil zone in Russia and to gain a better correlation between the calculated boundaries of this zone and the maps of vegetation, land use, and soils. Except for the East European Plain, boundaries of the dry steppe zone with chestnut soils do not coincide on different maps of zoning. Climatic parameters—the sum of active temperatures, the humidity factor, and the continentality coefficient—are the main factors specifying the spatial pattern of soil zones and facies on the maps of zoning. Soil characteristics—texture and water-physical properties—play a subdominant role. It is argued that data on the texture, water-physical properties, and solonchic properties of soils should be taken into account in separation of the dry steppe zone as the factors controlling the depth of soil moistening and the reserves of productive moisture. Together with the accumulated sum of active temperatures, they specify the development of dry steppe vegetation and, hence, the boundaries of the dry steppe soil zone. A new indicator—the sum of monthly excesses of precipitation over evapotranspiration—should be calculated with due correction for the soil texture, solonchic properties, and the content of carbonates. In combination with the accumulated sum of active temperatures, this indicator makes it possible to perform a detailed zoning of the area of chestnut soils on a quantitative basis and to separate cryoarid areas (cold semideserts) and semideserts with chestnut soils. Soil zones and facies determined with the use of this indicator are in good agreement with geobotanical maps and maps of land use.

*Keywords:* zonal-facies subdivision, chestnut soils, dry-steppe zone, cryoaridic territories, coefficient of moisture, continentality coefficient, the sum of active temperatures, excess of precipitation over evaporation, moisture availability, granulometric composition, solonchicity, mycelial secondary carbonates