ФИЗИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ, ЛАНДШАФТОВЕДЕНИЕ И ГЕОМОРФОЛОГИЯ
Научная статья
УДК 911.52: 551.525: 58.056
DOI: 10.17072/2079-7877-2026-2-6-19
EDN: UWBUGA

ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ ПЕРЕГНОЙНО-ТЕМНОГУМУСОВЫХ ПОЧВ ПРИЭЛЬБРУСЬЯ

Виктор Николаевич Пинской ✉, Виктория Александровна Маханцева, Игорь Александрович Шаев, Елена Владиславовна Чернышева, Александр Владимирович Борисов
Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения Российской академии наук, г. Пущино, Россия
✉ pinskoy@inbox.ru, ORCID: 0000-0002-7463-5186, SPIN-код: 6354-2516, РИНЦ AuthorID: 800772

Аннотация. Изучена годовая динамика температуры перегнойно-темногумусовых почв альпийской зоны Центрального Кавказа в зависимости от экспозиции и крутизны склонов, проективного покрытия, щебнистости и состава фитоценозов. Объекты исследования располагались на высотах 2680, 2940, 3100 м на склонах северной и южной экспозиций. Установлено, что на склоне южной экспозиции высотный градиент не влияет на температуру почв, поскольку определяющим фактором являются видовой состав растительности и высота травостоя. Преобладание в растительном покрове группы граминоидов с мощным проективным покрытием обуславливает снижение максимальной температуры в летний период и уменьшение количества дней с отрицательной температурой в холодное время года. На склоне северной экспозиции значения средних годовых температур почв снижались по мере увеличения абсолютной высоты. Различия температур воздуха и температур почв (на глубине 10 см) на склоне северной экспозиции менее выражены по сравнению со склоном южной экспозиции. Температурные экстремумы почв в летний и зимний период тесно связаны со скелетностью почв: высокая доля камней и редкое проективное покрытие вызывают наибольшую вариабельность температурного режима. В нижней части склона связь годового хода температуры почв в большей степени обусловлена экспозицией склона, в то время как в привершинной области эта зависимость менее выражена. Для летнего периода выявлена синхронная динамика суточного хода температур воздуха и почвы, которая не фиксировалась в холодное время года.

Ключевые слова: экспозиция склона, температура почв, альпийская зона, Приэльбрусье, состав растительности, длительно сезоннопромерзающий климат, интенсивный выпас

Финансирование. Полевые работы проводились в рамках Госзадания № 122040500036-9.

Благодарности. Авторы выражают признательность Магомедову К. М. за помощь в организации экспедиционных работ.

Для цитирования: Пинской В. Н., Маханцева В. А., Шаев И. А., Чернышева Е. В., Борисов А. В. Температурный режим перегнойно-темногумусовых почв Приэльбрусья // Географический вестник = Geographical bulletin. 2026. № 2(77). С. 6–19. EDN: UWBUGA DOI: 10.17072/2079-7877-2026-2-6-19

PHYSICAL GEOGRAPHY, LANDSCAPES AND GEOMORPHOLOGY
Original article
DOI: 10.17072/2079-7877-2026-2-6-19
EDN: UWBUGA

THE TEMPERATURE REGIME OF UMBRIC LEPTOSOLS IN THE ELBRUS REGION

Viktor N. Pinskoy[1]✉, Viktoria A. Makhantceva[1], Igor A. Shaev[1], Elena V. Chernysheva[1], Alexander V. Borisov[1]
[1] Institute of Physicochemical and Biological Problems in Soil Science of the Russian Academy of Sciences, Pushchino, Russia
✉ pinskoy@inbox.ru, ORCID: 0000-0002-7463-5186, SPIN-code: 6354-2516, eLibrary AuthorID: 800772

Abstract. The annual temperature dynamics of humus-rich soils in the alpine zone of the Central Caucasus were studied depending on slope aspect and steepness, soil skeleton, plant projective cover, and the composition of phytocenoses. The studied sites are located on north- and south-facing slopes at altitudes of 2,680, 2,940, and 3,100 m. It has been found that on the south-facing slope, the altitudinal gradient does not affect soil temperature: the determining factor is the species composition of the vegetation and the height of the grass stand. The dominance in the vegetation of the graminoid group with a dense projective cover leads to a decrease in the maximum soil temperature in the summer and a reduction in the number of days with negative temperatures in the cold season. On the north-facing slope, mean annual soil temperatures decrease with increasing absolute altitude. The differences between air and soil temperatures (at

© Пинской В. Н., Маханцева В. А., Шаев И. А., Чернышева Е. В., Борисов А. В., 2026

Лицензировано под CC BY 4.0. Чтобы посмотреть копию этой лицензии, посетите https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

a depth of 10 cm) on the north-facing slope are less pronounced compared to the south-facing slope. Soil temperature extremes in the summer and winter periods are closely related to soil skeleton: a high proportion of stones and sparse projective cover cause the greatest variability in the temperature regime. In the lower part of the slope, the annual variation in soil temperature is less influenced by the slope's exposure, while in the upper part, this dependence is more pronounced. For the summer period, synchronous dynamics of the daily course of air and soil temperatures have been revealed, which was not registered in the cold season.

Keywords: slope exposure, soil temperature, alpine zone, Elbrus region, vegetation composition, long-term seasonally freezing climate, intensive grazing

Funding. The field work was carried out as part of state assignment No. 122040500036-9.

Acknowledgments. The authors are grateful to K. M. Magomedov for his help in organizing the expedition work.

For citation: Pinskoy V. N., Makhantceva V. A., Shaev I. A., Chernysheva E. V., Borisov A. V. The temperature regime of umbric leptosols in the Elbrus region. *Geographical Bulletin*, 2026, no. 2(77), pp. 6–19. EDN: UWBUGA DOI: 10.17072/2079-7877-2026-2-6-19

Введение

Начиная с В. В. Докучаева, исследователи рассматривали климат как один из определяющих факторов почвообразования [5; 20; 24]. Климат определяется набором погодных характеристик, где температура является одним из важнейших факторов [18], влияющих на теплообеспечение почв за счет солнечной радиации, поглощенной и преобразованной поверхностью почвы в тепло [15]. Впервые понятие климата почв выдвинул П. А. Костычев (1886). Он рассматривал его как преломление атмосферного климата через специфические особенности и свойства почвы [14]. Изменения температуры в различных почвах могут быть связаны с неоднородным органоминеральным составом, пористостью, плотностью, сложением и т.д. [3; 31].

К внешним условиям, влияющим на изменение температуры почв, относятся: рельеф (перераспределение тепла в зависимости от экспозиции склонов) [20; 39], растительность (высота растений, сомкнутость крон и проективное покрытие) [35], высота снежного покрова (является основным фактором изменения средней годовой температуры в положительную сторону в промерзающих регионах) [17], сведение леса [9; 11], выпас скота [23; 25; 36; 41], техногенное влияние (городская среда, отвалы в зонах добычи полезных ископаемых и т.д.) [21; 26], а также деятельность почвенной биоты [38]. В зависимости от объекта исследования перечисленные факторы и особенности могут вызывать различные изменения температурного режима почв в пределах небольшой области [40].

В настоящее время заметен недостаток данных годового климатического мониторинга горных экосистем в различных геоэкологических условиях. Это связано с труднодоступностью объектов наблюдения, высокой степенью вариабельности внешних факторов и наличием специфических климат-формирующих условий участков.

Независимые температурные характеристики почв, полученные при помощи автономного наблюдения, в первую очередь необходимы для установления более точных границ почвенных климатических фаций [28], продолжительности вегетационного периода [16], а также при изучении биологической активности почв и оценке динамики органического вещества [2; 10].

В этой работе предпринята попытка оценить влияние абсолютной высоты, экспозиции и крутизны склона, скелетности почв, состава травостоя и проективного покрытия, а также интенсивности выпаса на изменение температурного режима перегнойно-темногумусовых почв альпийского пояса в северо-восточном Приэльбрусье.

Материалы и методы

Район исследования. Объекты расположены на горе Сирх, находящейся на отроге хребта Ташлысырт (Центральный Кавказ, северо-восточная часть Приэльбрусья) (рис. 1). Северный и южный склоны горы достаточно протяженные (более 1000 м), сглаженные, без выходов скальных пород, что позволило выбрать участки, различающиеся лишь абсолютной высотой. Нами выбрано три участка, приуроченных к разным высотам. На отмеченных высотах в почвенном покрове преобладают перегнойно-темногумусовые почвы разной мощности и степени скелетности. Исследование почв осуществлялось на склонах южной (рис. 1 а, в, д) и северной (рис. 1 б, г, е) экспозиций.

В высшей точке катены на склоне северной экспозиции обширные площади занимали скальные выходы, поэтому найти участок с почвенным слоем удалось на площадке с несколько большей крутизной, чем на южном склоне, при этом абсолютная высота была практически одинаковой (3096 и 3094 м соответственно). Асимметричность макросклонов горы Сирх проявлялась и в средней точке катены, но в меньшей степени. В наиболее низкой точке катены тестовые площадки располагались в практически однотипных геоморфологических условиях (табл. 1).

Район исследования характеризуется средней годовой температурой воздуха – 1,14° С (на высоте 3000 м) и годовой суммой осадков 2000–2200 мм [34]. Почвообразующая порода представлена элюво-делювием известковистых песчаников.

Таблица 1
Table 1

Расположение площадок и особенности склонов
Site locations and slope features

Ключевой участок	*Высота, м*	*Ориентация склонов*	*Крутизна склонов, °*	*Координаты*
«2680 Юг»	2688	Юго-запад	37	43.43957, 42.522708
«2680 Север»	2679	Северо-восток	33	43.44009, 42.523224
«2940 Юг»	2944	Юго-юго-восток	26	43.44907, 42.528577
«2940 Север»	2937	Северо-восток	38	43.449655, 42.528784
«3100 Юг»	3094	Юго-юго-восток	32	43.449789, 42.523425
«3100 Север»	3096	Северо-северо-запад	52	43.450056, 42.52328

В почвенном покрове преобладают перегнойно-темногумусовые почвы (отдел органоаккумулятивных почв) [22]. Содержание $CaCO_3$ составляет менее 0,6 %. Также в этих почвах отмечается слабокислая среда (pH 5,7–5,9). Относительно высокие значения потери при прокаливании (ППП): в слое 0–10 см этот показатель нередко превышал 20 %. При этом содержание Сорг (определяли методом по Тюрину) варьировало в пределах 8–10 % [37]. Поскольку почвы соответствуют длительно-промерзающей почвенно-климатической фации и развиваются при отрицательной средней годовой температуре – категория E по классификации климатов Кёппена [33] (рис. 2), то основная масса почв верхних горизонтов состоит из растительных остатков разной степени разложения, в которых содержания физ. глины менее 10 % (табл. 2).

Таблица 2
Table 2

Скелетность и гранулометрический состав почв
Soil skeleton and granulometric composition of soils

Объект	*Глубина, см*	*Скелетность, %*	*Содержание фракций (мм), %*						
			1–0,25	*0,25–0,05*	*0,05–0,01*	*0,01–0,005*	*0,005–0,001*	*<0,01*	*<0,001*
«2680 Юг»	0–10	3,3	12	58	22	4	3	8	1
	10–20		11	62	17	6	4	10	1
«2680 Север»	0–10	3,8	18	57	17	2	4	8	1
	10–20		16	53	14	9	7	16	1
«2940 Юг»	0–10	26,6	33	43	18	1	3	6	1
	10–20	23,2	28	42	23	1	5	7	1
«2940 Север»	0–10	16,4	23	49	19	3	5	10	1
	10–20	60,8	22	54	10	8	5	14	1
«3100 Юг»	0–10	78,7	20	68	6	0	3	7	3
	10–20	69,1	23	59	9	1	4	9	4
«3100 Север»	0–12	91,1	25	58	10	1	3	8	3

Сбор данных. Для осуществления годового мониторинга температуры почв было выбрано 3 высотных уровня – 3100, 2940, 2680 м. На каждом высотном уровне выбрано два ключевых участка на склонах северной и южной экспозиций (ключевые участки «3100 Север», «3100 Юг», «2940 Север», «2940 Юг» и т.д.). На каждом ключевом участке были заложены почвенные разрезы. Места заложения разрезов соответствовали наиболее типичным почвенным разностям (установлено с помощью серии прокопок). В одном метре от почвенных разрезов в почву были установлены логгеры TR-2V (DS1923-F5) на глубину 10 см. Частота съемки составляла 4 замера в сутки, таким образом было получено более 2000 записей с каждого логгера. Дата установки логгеров: 22 августа 2023 г. Дата окончания измерений: 3 августа 2024 г. Температурные данные сняты программой TR Complex.

Суточные замеры температуры воздуха в Приэльбрусье на высоте 3000 м были взяты с сайта mountain-forecast.com, количество температурных съемок составляло 8 замеров в сутки. Данные получены за 2022–2023 гг. [34].

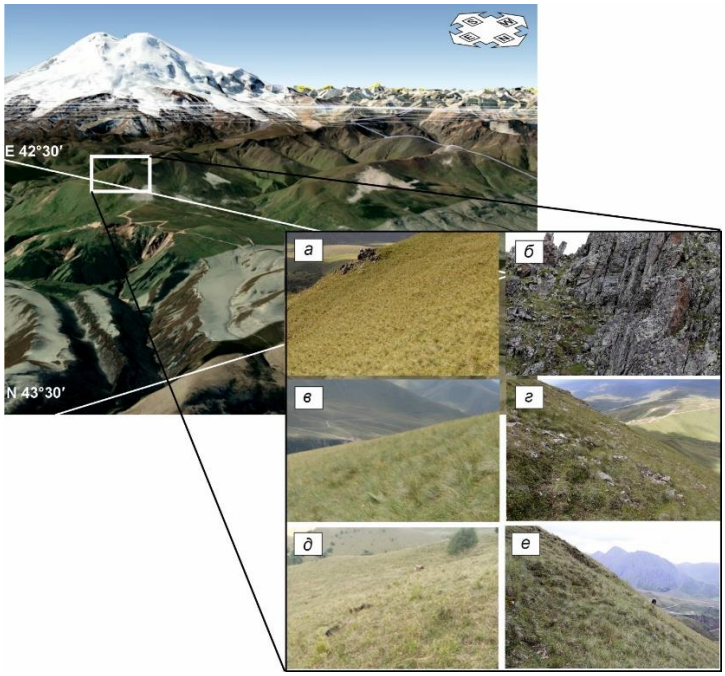


Рис. 1. Снимок Приэльбрусья с северо-востока (программа Google Earth Pro) и фото участков:
3100 м склон южной (а) и северной (б) экспозиции; 2940 м склон южной (в) и северной (г) экспозиции;
2680 м склон южной (д) и северной (е) экспозиции
Fig. 1. An image of the Elbrus region from the northeast (Google Earth Pro program) and photos of the sites:
3,100 m slope of the southern (а) and northern (б) exposures; 2,940 m slope of the southern (в) and northern (г) exposures; 2,680 m slope of the southern (д) and northern (е) exposures

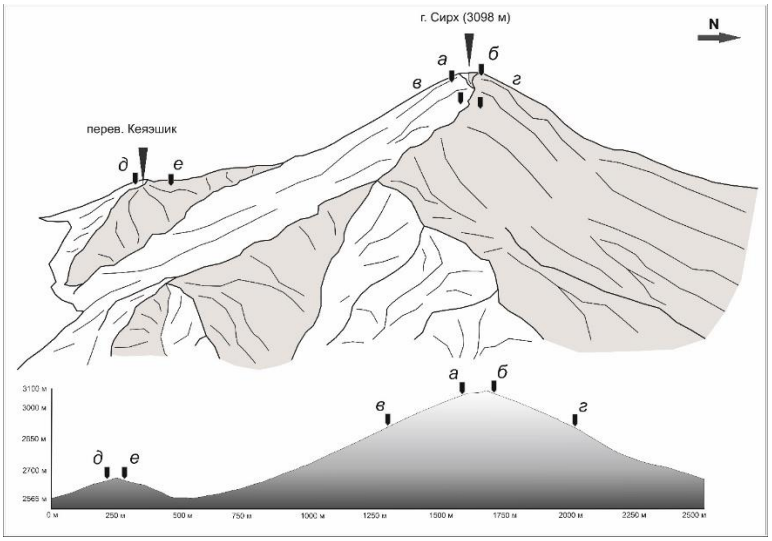


Рис. 2. Карта-схема с расположением объектов.
3100 м склон южной (а) и северной (б) экспозиции; 2940 м склон южной (в) и северной (г) экспозиции;
2680 м склон южной (д) и северной (е) экспозиции
Fig. 2. Schematic map with the location of the objects.
3,100 m slope of the southern (а) and northern (б) exposures; 2,940 m slope of the southern (в) and northern (г) exposures; 2,680 m slope of the southern (д) and northern (е) exposures

В пределах каждого ключевого участка на прилегающей к почвенному разрезу территории проводили геоботаническое описание. Дата проведения: 3–4 августа 2024 г. Площадки закладывали размером 5×5 м (25 м^2). Выявляли флористический состав, оценивали общее и частное проективное покрытие [7]. Площадки располагались на склонах северной и южной экспозиций в местах установки логгеров. Альфа-разнообразие растительности оценивалось через видовое богатство (индекс Шеннона). Индекс Шеннона рассчитывался по формуле (1):

$$H = -\sum_{i=1}^{k} p_i * \log_2 p_i, \quad (1)$$

где H – индекс видового разнообразия; p_i – доля i-го вида в сообществе.

Распределение по функциональным группам оценивалось на основе суммарной доли проективного покрытия видов, относящихся к группам, от общего проективного покрытия яруса. Дополнительно проведен анализ сходства площадок, расположенных на одной высоте, но на склонах разных экспозиций, на основе коэффициента флористического сходства Жаккара (K_j) [27] по формуле (2):

$$K_j = C/(A+B-C)*100\ \%, \quad (2)$$

где A и B – число видов в первом и втором описаниях соответственно; C – число общих видов для этой пары описаний.

Определение скелетности почв осуществлялось путем просеивания 1 л образца через сито 1 мм (все камни более 1 мм учитывали как почвенный скелет), массу просеянной почвы оценивали после прокаливания при 105° С. Скелетность выражена в процентах от общей массы [29]. Скелетность определяли послойно. На объектах «2680 Север» и «2680 Юг» отбор образцов осуществлялся каждые 20 см до глубины 60 см. На объекте «2940 Север» мощность профиля составила 40 см, на объекте «2940 Юг» достигала 50 см, отбор образцов производился с каждых 10 см профиля. На участке «3100 Север» почвенный покров был фрагментарным, а мощность не превышала 12 см, на объекте «3100 Юг» образцы отбирали послойно каждые 10 см до глубины 20 см. Определение скелетности почв частично проводили в полевых условиях, где при естественной влажности осуществлялось просеивание грунта через сито 7 мм. Крупные камни взвешивали. Фракцию <7 мм просеивали в лаборатории после подсушивания. Вес почвы учитывали после высушивания при 105° С.

Статистическую обработку проводили в программах Statistica, TR Complex, Excel.

Результаты

Годовая динамика температур воздуха и почв. Максимальная температура воздуха (**T_{max}**) на высоте 3000 м составляла 16° С (15 и 26 августа 2022 г.) (рис. 3). Минимальная температура воздуха была зафиксирована 16 февраля 2023 г. и равнялась –24° С (табл. 3).

Таблица 3
Table 3

Температурные характеристики воздуха и почв в высотном градиенте и по экспозициям склонов
Temperature characteristics of air and soils in the altitudinal gradient and by slope exposures

Объект	$T_{ср}$	*Количество дней с температурой*			*САТ*		T_{min}, °С	T_{max}, °С
		<0°С	*0–10° С*	*>10° С*	*>0° С*	*>10° С*		
«2680 Юг»	5,2	65	204	97	1981	1260	–3,5	16,6
«2680 Север»	3,9	83	195	88	1487	1044	–1,0	14,6
«2940 Юг»	5,4	29	249	88	1980	1062	–3,4	14,6
«2940 Север»	2,5	102	223	41	1185	475	–4,9	12,7
«3100 Юг»	5,1	69	196	100	2048	1284	–8,5	19,1
«3100 Север»	0,4	179	168	19	889	224	–14,0	12,7
Температура воздуха (3000 м)	–1,14	211	116	38	992	458	–24,0	16,0

Максимально прогретым до глубины 10 см оказался почвенный слой на объекте «3100 Юг» (рис. 3 а). По данным логгера, 1 сентября 2023 г. температура почвы составляла +19,1° С. Несколько ниже оказалась максимальная температура почвы ключевого участка «2680 Юг», здесь 16 июля 2024 г. температура почвы составляла +14,9° С (рис. 3 д). Выше по склону на объекте «2940 Юг» в самый жаркий период температура почвы была ниже на 1,4° С (1 сентября 2023 г.) (рис. 3 в).

Наиболее значимо влияние высоты на снижение температуры почвы в летний период проявляется на склоне северной экспозиции. Здесь максимальная температура отмечена на участке «2680 Север» (14,6° С 14 июля 2023 г.) (рис. 3 е), в то время как на участках «2940 Север» (17 июля 2023 г.) (рис. 3 г) и «3100 Север» (8 июля 2023 г.) (рис. 3 б) максимальная температура достигала 12,7° С. В горной части РСО – Алания, как приводится в Кадастре селевой опасности Юга Европейской части России [6], к настоящему времени выявлено 145 селевых бассейнов. Общая площадь пораженности селями приблизительно равна 2165 км^2, что составляет 25 % от всей площади республики.

Изменение минимальных годовых температур (**T_{min}**) почв в высотном градиенте было в целом аналогично изменениям максимальных положительных температур. Так, максимальная по модулю температура отмечена на участке «3100 Север» (–14° С 14 января 2024 г.). Далее вниз по склону T_{min} быстро растет до –4,9° С на участке

«2940 Север» (15–16 января и 6–11 февраля 2024 г.) и до –1° С на участке «2680 Север» (31 января, 5–13 февраля 2024 г.) соответственно.

В пределах совокупности исследуемых участков минимальная температура зафиксирована на склоне южной экспозиции участка «3100 Юг», где этот показатель составлял –8,5° С (14 января 2024 г.). Разница в T_{min} на участках «2940 Юг» и «2680 Юг» составляла 0,1° С (участок «2680 Юг» более холодный). Минимальные температуры для участка «2680 Юг» (–3,5° С) зафиксированы 5–6 февраля, для участка «2940 Юг» (–3,4° С) – 6 февраля 2024 г.

Средняя годовая температура (**$T_{ср}$**) воздуха на высоте 3000 м была отрицательной в период 2022–2023 гг. и составляла –1,14° С, в то время как средняя температура почвы за весь период наблюдений 2023–2024 гг. была положительной. Расчет средних температур по количеству дней и сумм активных температур производился с учетом среднего значения полученных данных для отсутствующих дней августа (5–22 августа), тем самым используемые данные нельзя назвать абсолютно точными, но предел погрешности на фоне годовых сумм температур незначителен.

На склоне южной экспозиции средняя температура почвы за период наблюдений была максимальной на участке «2940 Юг». Наибольшее количество дней с температурой выше 10° С было отмечено на участке «3100 Юг» (100 дней), тогда как $T_{ср}$ была здесь самой низкой.

Так же как и средняя годовая температура, количество дней с температурой >10° С уменьшалось с высотой на склоне северной экспозиции. Обратная тенденция отмечена для количества дней с температурой <0° С. Исключением на склоне северной экспозиции являлся ключевой участок «2940 Север», где количество дней с температурой 0–10° С было максимальным – 223 дня.

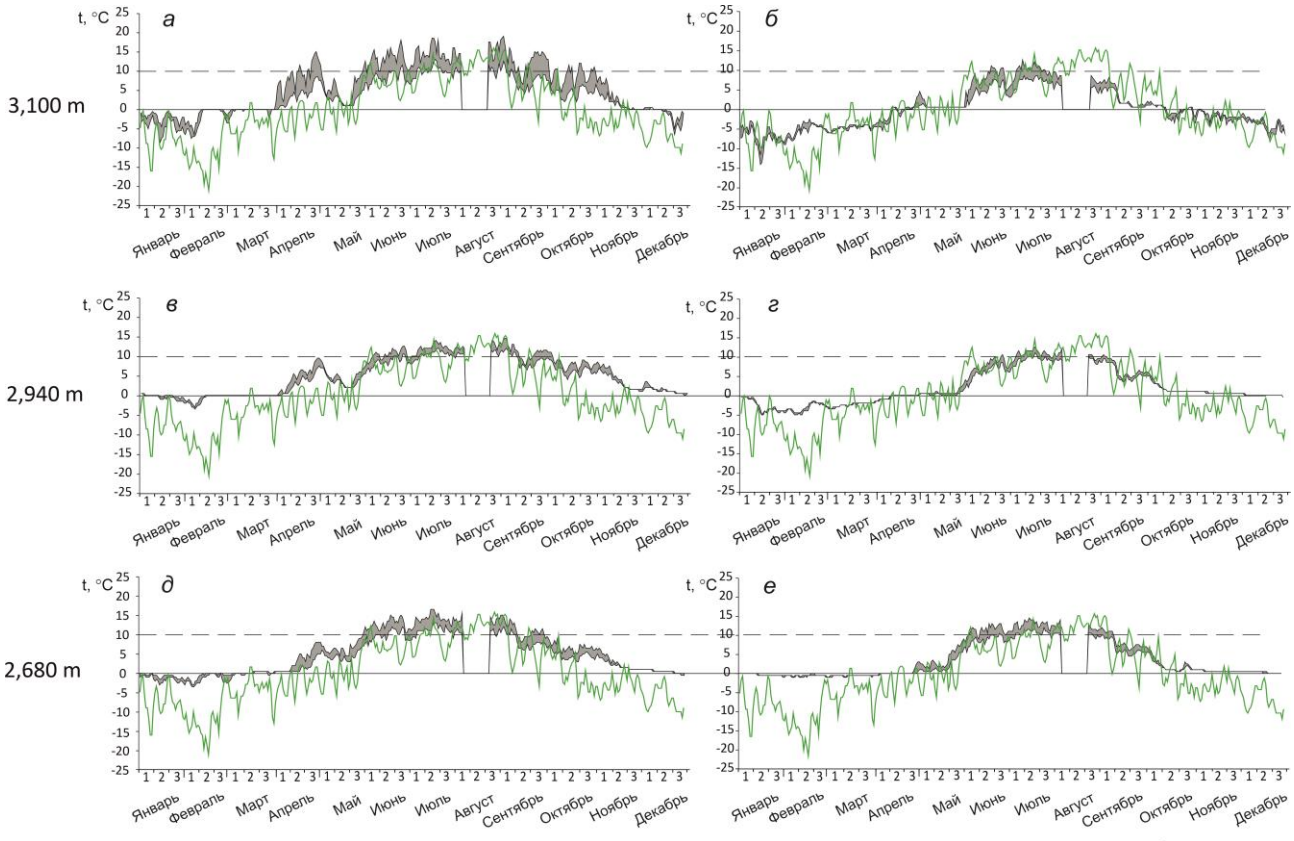


Рис. 3. Температура воздуха на высоте 3000 м (за 2022–2023 гг.) (показана зеленым на всех графиках) и диапазон колебаний срочных температур за сутки в почвах на глубине 10 см (за 2023–2024 гг.):
а – 3100 Юг; б – 3100 Север; в – 2940 Юг; г – 2940 Север; д – 2680 Юг; е – 2680 Север.
Цифрами (1, 2, 3) показаны декады месяцев
Fig. 3. Air temperature at an altitude of 3,000 m (for 2022–2023) (shown in green on all graphs) and the range of daily temperature fluctuations in soils at a depth of 10 cm (for 2023–2024):
а – 3,100 South; б – 3,100 North; в – 2,940 South; г – 2,940 North; д – 2,680 South; е – 2,680 North.
The numbers (1, 2, 3) show the decades of the months

Суммы активных температур **(САТ)** воздуха и почв >0° С и >10° С рассчитывали по сумме средних суточных температур. Значение САТ воздуха >0° С составило 992° С, а САТ >10° С – 458° С, значения САТ >0° С и >10° С на склоне южной экспозиции были выше в 1,6–1,9 раза. На участках склона северной экспозиции САТ

>0° С и >10° С уменьшалась пропорционально увеличению высоты (табл. 3). Также следует отметить, что на высоте 3100 м зафиксированы как максимальные, так и минимальные суммы температур: >0° С и >10° С. Минимальная сумма активных температур обнаружена на участке «3100 Север» (САТ >0–889° С; САТ >10–224° С), а максимум – на участке «3100 Юг» (САТ >0–2048° С; САТ >10–1284° С).

Растительный покров площадок. При описании растительного покрова учитывали численность основных групп: Граминоиды (растения семейств *Juncaceae, Cyperaceae, Gramineae*); Разнотравье (травянистые растения всех семейств, за исключением *Juncaceae, Cyperaceae, Gramineae, Leguminosae*); Бобовые (травянистые семейства *Leguminosae*); Папоротники (растения отдела *Polypodiophyta*); Плауны (растения отдела *Lycopodiophyta*); Листопадные (листопадные кустарнички и кустарники всех семейств); Вечнозеленые (вечнозеленые кустарнички и кустарники всех семейств).

Общее проективное покрытие на склоне южной экспозиции на площадках 2680 и 2940 м составило 80 %, в то время как выше по склону на площадке 3100 м этот показатель уменьшался на 10 % (табл. 4). На склоне северной экспозиции динамика снижения проективного покрытия с увеличением высоты н.у.м. более выражена: «2680 Север» – 70 %, «2940 Север» – 60 %, «3100 Север» – 10 %.

Таблица 4
Table 4

Видовое богатство и общее проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса фитоценозов по склонам и вариантам
Species richness and total projective cover of the grass and shrub layer of phytocenoses by slopes and variants

Объект	*Название биогеоценоза (БГЦ)*	*Видовое богатство (число видов на площадке), шт.*	*Индекс Шеннона*	*Общее проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса, %*
«2680 Юг»	манжетко-осоковый луг	25	1,31	80
«2680 Север»	манжетко-пестро-овсянницевый луг	37	2,29	70
«2940 Юг»	пестроовсянницевый луг	39	1,50	80
«2940 Север»	бруснично-разнотравный луг	32	1,41	60
«3100 Юг»	разнотравный альпийский луг	28	2,23	70
«3100 Север»	единичная растительность	19	0,25	10

Максимальное видовое разнообразие растений было обнаружено на площадке «2940 Юг» (39 видов). На площадке «3100 Юг» видовое разнообразие было ниже (28 видов), индекс Шеннона составлял 2,23. Высокая численность видов (37 видов) и максимальный индекс Шеннона (2,29) в пределах исследуемой горы были выявлены на площадке «2680 Север». Далее вверх по склону эти параметры снижались до минимальных значений.

Распределение по функциональным группам оценивалось на основе суммарной доли проективного покрытия от общей площади, на которой измерялось проективное покрытие. [8]. На склоне южной экспозиции на площадках «2680 Юг» и «3100 Юг» доминировало разнотравье, основное различие заключалось в том, что на первой площадке 37 % составляли граминоиды, а на второй площадке более 17 % составляли бобовые (рис. 4). Остальные группы характеризовались незначительным вкладом в проективное покрытие. Максимальная доля растений-граминоидов была зафиксирована на площадке «2940 Юг» – 84,6 %. Как и в случае склона южной экспозиции, на северном склоне доля разнотравных видов растений преобладала на площадках «2680 Север» и «3100 Север», где на площадке «3100 Север» их доля составляла 98,8 %. Наиболее разнообразными по составу группами оказались площадки «2680 Север» и «2940 Север». На них были обнаружены листопадные кустарнички и кустарники (на площадке «2940 Север» доля кустарничков составляла 63,9 %), а также группа граминоидов.

Для площадок, расположенных на одной высоте на склонах северной и южной экспозиций, измерен коэффициент флористического сходства Жаккара [27; 32]. Показано, что флористическое сходство между площадками «2680 Юг» и «2680 Север» является наибольшим и составляет 48 %. В то же время на площадках, расположенных выше (2940 и 3100 м), коэффициент Жаккара для противоположных склонов составил 27 %, что свидетельствует о низкой флористической однородности. При этом необходимо рассматривать все 6 фитоценозов на отмеченных площадках как самостоятельные сообщества.

Скелетность почв. Наибольшая доля камней была обнаружена в образце, отобранном с участка «3100 Север» (рис. 5). Здесь доминирует фракция камней ≥7 мм (более 90 %). На противоположном склоне, на участке «3100 Юг», доля крупных камней также составляла значительную часть образца. Важно отметить, что в нижней части катены на высоте 2680 м доля камней в верхних горизонтах не превышала 4 %. Из диаграммы также следует, что с высотой увеличивается скелетность почв и уменьшается мощность почвенного профиля. Закономерного распределения камней по профилю на объекте 2940 обнаружено не было.

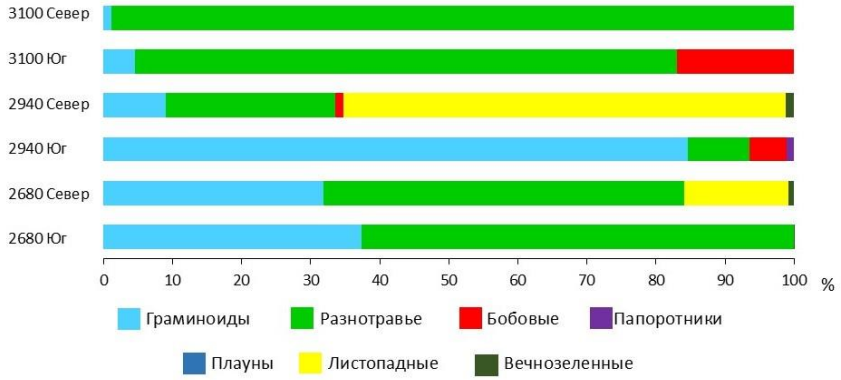


Рис. 4. Функциональные группы видового состава растительности в % от проективного покрытия
Fig. 4. Functional groups of vegetation species composition in % of the projective cover

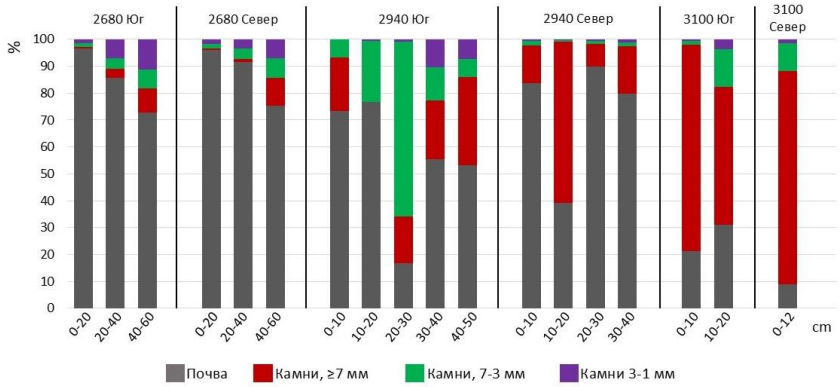


Рис. 5. Доля мелкозема (≤1 мм) и различных фракций камней в % от общей массы по профилю почв
Fig. 5. The proportion of fine earth (≤1 mm) and various stone fractions in % of the total mass according to the soil profile

Обсуждение

Суточная динамика максимальных и минимальных температур воздуха и почвы. Из литературы известно, что в исследуемых широтах максимум дневной температуры воздуха наблюдается ближе к 14–15 часам, в то время как минимум приходится на 5–6 часов утра. Эта закономерность проявляется в условиях устойчивой ясной погоды [12]. Мы попытались оценить суточные колебания максимальных и минимальных температур почв, которые должны значимо отличаться в ночное и дневное время относительно температуры воздуха. Установлено, что максимальная температура почв в зимний период приходится на 14–18 часов, а в летний на 10–14 часов, реже – 18 часов. Максимальная отрицательная температура в зимний период отмечена в 2–6 часов, в то время как в летний период минимум был в 6 утра, реже – в 2 часа. В летний период максимум температур воздуха приходился на 12–16 часов, реже – на 18, а минимум – на 2–6 часов. В зимний период максимальная и минимальная температуры воздуха могли колебаться независимо от времени суток.

Влияние экспозиции на температурный режим почв. Наиболее значимое различие в теплообеспеченности почв на склонах северной и южной экспозиций было зафиксировано на высоте 3100 м. Различия средней годовой температуры по склонам северной и южной экспозиций уменьшались с уменьшением высоты.

На участке «2680 Север» средняя месячная температура почв в январе составляла –0,3° С, в то время как на объекте «2680 Юг» (где, вероятно, не было снега) она равнялась –1,1° С. На участках, расположенных выше, средняя месячная температура января была ниже на склоне северной экспозиции. Установить высоту снежного покрова и длительность его залегания не удалось. Согласно имеющимся в открытом доступе космоснимкам района исследований, в холодное время года на южном склоне снеговой покров большую часть зимы фрагментарен или отсутствует, в то время как на северном склоне наличие снега хорошо выражено. Вероятно, такая ситуация характерна для большей части зимы.

Во всех случаях переход через 0° С после отрицательных температур (весной) на склоне южной экспозиции был быстрее относительно северных участков. Но здесь также не было обнаружено закономерности в зависимости от высоты.

Влияние крутизны склона на температурный режим почв. Известно, что чем круче склон южной экспозиции, тем больше на него поступает солнечной радиации. Обратная закономерность установлена для склона северной экспозиции [12; 29]. На участках северной экспозиции крутизна склона исследуемого горного массива увеличивалась с высотой от 33 до 52°, а температура закономерно снижалась. Максимальный уклон (32–37°) на склоне южной экспозиции был зафиксирован на участках «2680 Юг» и «3100 Юг», на этих участках также T_{max} составляла 16,6–19,1° С. На участке «2940 Юг» крутизна склона составляла 26°, а T_{max} – 14,6° С.

Влияние растительности на температурный режим почв. Значительное влияние на теплообеспеченность почв оказывает проективное покрытие и высота травостоя. Это влияние в первую очередь сказывается через изменение альбедо. На участке «3100 Юг» проективное покрытие составляло всего 70 %, а высота травостоя не превышала 20 см. Открытый грунт на этом участке уже в апреле характеризовался положительной температурой: +6° С (выше на 2° С относительно «2940 Юг» и на 4° С «2680 Юг»). В большинстве месяцев с положительной средней месячной температурой участок «3100 Юг» оставался наиболее прогретым.

Почвы на ключевом участке «2940 Юг» в меньшей степени прогреваются в июне-августе, при этом в холодное время года температура почв здесь была выше, чем в почвах на высотах 2680 и 3100 м. Мы полагаем, что это связано с высокой задернованностью участка пестроовсянницевого луга и с высокой долей граминоидов (высотой достигающих 40 см) в составе фитоценозов.

В отличие от южного склона, на склоне северной экспозиции растительность в меньшей степени влияет на температурный режим почв, который в данном случае определяется абсолютной высотой. Доля граминоидов на участках северного склона закономерно уменьшалась с высотой, как и высота травостоя, общее проективное покрытие и индекс Шеннона.

Влияние интенсивного выпаса. На изменение высоты травостоя и проективного покрытия в значительной мере влияет сезонный интенсивный выпас скота, который отмечен на всех участках. При этом наиболее низкая пастбищная нагрузка отмечена на площадке «2940 Юг», где доминируют граминоиды. Скот крайне неохотно поедает злаковое высокотравье с высоким содержанием кремния и предпочитает пастись на участках, где в составе фитоценоза преобладают двудольные [1]. Следует отметить, что на площадке «2940 Юг» также отмечено наиболее высокое проективное покрытие и наличие ветоши на поверхности почвы. На остальных участках преобладало разнотравье со следами интенсивного выпаса. Таким образом, выявлена обратная зависимость между высотой травостоя, проективным покрытием и наличием ветоши, с одной стороны, и интенсивностью выпаса – с другой, что отражается на величине альбедо и годовом ходе температур.

Влияние скелетности на температурный режим почв. Температурный режим почв в большой степени определяется наличием камней, высокая доля которых может влиять на повышение теплопроводности почв [6]. Наибольшая скелетность почв отмечена на участках «3100 Юг» и «3100 Север»: 78,7 и 91,1 % камней от общей массы. Можно предполагать, что высокая скелетность в определенной мере повлияла на более широкий размах колебаний температуры почвы.

Статистическую обработку большинства полученных параметров по 6 площадкам анализировали при помощи метода главных компонент ***(МГК)***. Метод главных компонент строился на основе 17 векторов, расположенных на двухмерной оси, где каждый вектор объясняет вклад в первую и вторую главные компоненты (рис. 6). Из диаграммы следует, что основной вклад в различие объектов на левую и правую полуось оказывает положительная и отрицательная температура. Это хорошо заметно по широкому разделению на точечной диаграмме объектов «3100 Север» и «3100 Юг».

Основной вклад в распределение точек в нижней полуоси оказали влияние крутизны склона с тесной корреляцией максимальных положительных температур (T_{max}), а также доля разнотравья, в то время как определяющими векторами верхней полуоси оказались количество дней с температурой 0–10° С (которые составляют большую часть года), видовое разнообразие растительного сообщества и листопадные кустарнички (процентное отношение которых было максимальным на объекте «2940 Север»). Стоит обратить внимание на уменьшение разрыва по экспозициям между участками 2940 м относительно 3100 м. На участках 2940 м были выявлены близкие значения по таким векторам, как индекс Шеннона, видовое богатство, количество дней пребывания почв при температуре в пределах 0–10° С, T_{max}, T_{min} и т.д.

Минимальное влияние экспозиции склона зафиксировано на участках на высоте 2680 м, в нижней точке исследуемой катены. Вероятно, подобный эффект в определенной мере вызван особенностями локальных климатических условий в синклинальной области. Так, согласно концепции А. И. Воейкова, дневной нагрев и ночное охлаждение являются наибольшими для положительных форм (возвышенностей) и наименьшими для отрицательных форм рельефа (долин) [4]. Характерно, что вектор высоты над у.м. не является определяющим фактором в изменении теплообеспечнности почв альпийского пояса и не имеет тесных связей с другими заданными параметрами (рис. 6).

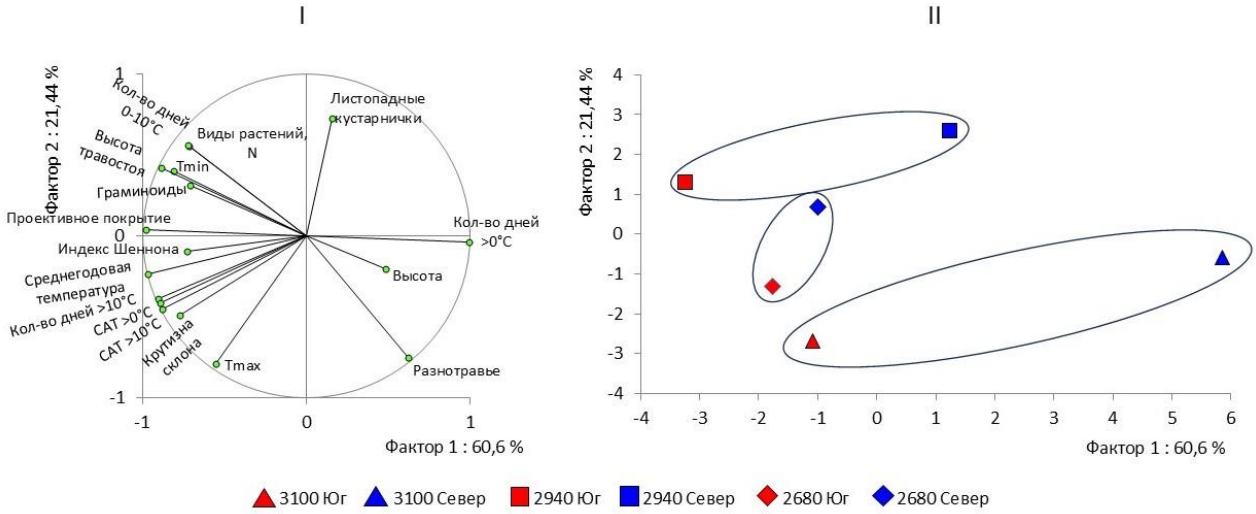


Рис. 6. Векторная диаграмма (I) и диаграмма рассеивания (II), иллюстрирующие вклад различных климатических и почвенных параметров в различие объектов по экспозициям
Fig. 6. Vector diagram (I) and scattering diagram (II) illustrating the contribution of various climatic and soil parameters to the difference of the objects by exposures

Выводы

Основное влияние на различия температурного режима почв альпийской зоны в Приэльбрусье оказывает экспозиция склона. Фактор высоты на склоне южной экспозиции в пределах 2680–3100 м не является значимым в изменении теплообеспеченности почв. В то же время на склоне северной экспозиции с увеличением абсолютной высоты отмечено закономерное снижение средней годовой температуры почв, количества дней с температурой >10° С, сумм активных температур >0 и >10° С и других показателей.

На склоне южной экспозиции на высоте 3100 м в летний период температура почвы была на 3° С выше температуры воздуха, тогда как в зимний период минимальная температура почвы на глубине 10 см достигала –12,7° С при температуре воздуха –24° С.

Различия температур на склонах разной экспозиции наиболее заметны на высоте 3100 м, в меньшей степени проявляются на участках 2940 м и наименее выражены в нижней точке катены на высотах 2680 м. Помимо абсолютной высоты, в динамику средних годовых температур почв заметный вклад вносит скелетность почв: чем выше доля камней, тем более значительными становятся температурные экстремумы.

Видовой состав растительности, высота травостоя и проективное покрытие оказывают значительное влияние на температурный режим почв. Высокая доля непоедаемого скотом злакового высокотравья обеспечивает более высокое альбедо, что влияет на уменьшение температурных экстремумов в летний и зимний периоды. На участках с преобладанием разнотравья скот пасется особенно интенсивно, что вызывает уменьшение высоты травостоя и проективного покрытия, а также приводит к более контрастному годовому ходу температур.

Библиографический список

1. *Абатурова Б. Д.* Разнокачественность пастбищного кормового ресурса и его разделение комплексом растительноядных млекопитающих при совместной пастьбе // Аридные экосистемы. 2024. Т. 30, № 2(99). С. 73–80. DOI: 10.24412/1993-3916-2024-2-73-80 EDN: EMLDJM

2. *Аветисян М. Г.* Трансформация органического вещества и биогенных элементов почв, вызванная антропогенной деятельностью // Вестник ВГУ. Серия: География. Геоэкология. 2018. № 4. С. 34–38. EDN: YRVSMX

3. *Архангельская Т. А.* Температурный режим комплексного почвенного покрова. М.: ГЕОС, 2012. 282 с. EDN: TRZZOJ

4. *Воейков А. И.* Метеорология. Ч. 1. Проблемы температуры почвы. Типы вертикального распределения ее и отношение к температуре воздуха. СПб: Картогр. заведение А. Ильина, 1903. 224 с.

5. *Докучаев В. В.* Материалы к оценке земель Нижегородской губернии. Естественно-историческая часть. Отчет Нижегородскому губернскому земству. Вып. 1: Главные моменты в истории оценок земель Европейской России, с классификацией русских почв. СПб: Тип. Евдокимова, 1886. 391 с.

6. *Захаров А. В., Маховер С. Э.* Влияние гранулометрического состава на теплопроводность песчаного грунта // Construction and Geotechnics. 2020. Т. 11, № 2. С. 19–27. DOI: 10.15593/2224-9826/2020.2.02 EDN: ROVIYE

7. *Зернов А. С., Алексеев Ю. Е., Онипченко В. Г.* Определитель сосудистых растений Карачаево-Черкесской республики. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2015. 459 с. EDN: YTPSGQ

8. *Ипатов В. С., Мирин Д. М.* Описание фитоценоза: методические рекомендации. СПб: СПбГУ, 2008. 70 с.

9. *Казеев К. Ш. Солдатов В. П., Шхапацев А. К., Шевченко Н. Е., Грабенко Е. А., Ермолаева О. Ю., Колесников С. И.* Изменение свойств дерново-карбонатных почв после сплошной рубки в хвойно-широколиственных лесах Северо-Западного Кавказа // Лесоведение. 2021. Т, 4. № 4. С. 426–436. DOI: 10.31857/S0024114821040069 EDN: NAMHYY

10. *Казеев К. Ш., Овдиенко Р. В., Колесников С. И., Вальков В. Ф.* Особенности распределения микроорганизмов в горно-луговых почвах Кавказского биосферного заповедника // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2003. №. 2. С. 82–85. EDN: HYRVNH

11. *Казеев К. Ш., Тер-Мисакянц Т. А., Кузнецова Ю. С., Поляков А. И., Кутузова И. В., Мазанко М. С., Колесников С. И.* Влияние вырубки леса на биологические свойства горных почв Западного Кавказа // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2012. № 82. С. 187–197. EDN: PGKYMH

12. *Кондратьев К. Я.* Актинометрия. Л.: Гидрометеоиздат, 1965. 692 с.

13. *Кондратьев К. Я., Пивоварова З. И., Федоров М. П.* Радиационный режим наклонных поверхностей / ред. П. Я. Кондратьев. Л.: Гидрометеоиздат, 1978. 215 с.

14. *Костычев П. А.* Почвы черноземной области России, их происхождение, состав и свойства. Ч. 1. Образование чернозема. СПб: Девриен А. Ф., 1886. 230 с.

15. *Кузнецов Б. Ф., Клибанова Ю. Ю.* Физические основы и математическая модель возникновения радиационных заморозков // Проблемы и перспективы устойчивого развития агропромышленного комплекса: мат. Всерос. науч.-практ. конф. (Иркутск, 15–16 ноября 2018 г.). Иркутск, 2018. С. 186–194. EDN: YXYIKL

16. *Курашев А. С.* Антэкология злаков альпийского пояса северо-западного Кавказа // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический. 2012. Т. 117, № 2. С. 56–64. EDN: PLQWSR

17. *Махатков И. Д., Ермолов Ю. В.* Особенности температурного режима лесных почв северной тайги Западной Сибири // Почвы и окружающая среда. 2019. Т. 2, № 4. С. 4–15. DOI: 10.31251/pos.v2i4.105 EDN: PHNETM

18. *Мохов И. И.* Климат // Большая российская энциклопедия: научно-образовательный портал : сайт. URL: https://bigenc.ru/c/klimat-780c32/?v=7756332 (дата обращения: 06.07.2023)

19. *Неуструев С. С.* Элементы географии почвы / под ред. Л. И. Прасолова. Посмертное изд. М.; Л.: Гос. с.-х. изд-во, 1930. 240 с.

20. *Пинской В. Н., Каширская Н. Н., Идрисов И. А., Ельцов М. В., Борисов А. В.* Почвы земледельческих террас на карбонатных породах Восточного Кавказа // Региональные геосистемы. 2022. Т. 46, № 1. С. 5–13. DOI: 10.52575/2712-7443-2022-46-1-5-13 EDN: BVHJCL

21. *Подрезова Ю. А.* Современное изменение климата в центральной и южной части лесостепной зоны Русской равнины // Географический вестник = Geographical bulletin. 2025. № 2(73). С. 105–115. DOI: 10.17072/2079-7877-2025-2-105-115 EDN: MNLLOZ

22. Полевой определитель почв / под ред. Н. Б. Хитрова. М.: Почвенный институт им. В. В. Докучаева, 2008. 182 с.

23. *Пономаренко Е. А., Коломина Т. М.* Воздействие выпаса скота на биоценозы Приольхонья и острова Ольхон (озеро Байкал) // Климат, экология, сельское хозяйство Евразии: мат. IX междунар. научно-практ. конф. (Иркутск, 21–22 мая 2020 г.). Молодежный: Иркутский государственный аграрный университет им. А. А. Ежевского, 2020. С. 107–115. EDN: FMTYYE

24. Почвоведение: учеб. для вузов по спец. «Агрохимия и почвоведение» / И. С. Кауричев, Н. П. Панов, Н. Н. Розов [и др.]; под ред. И. С. Кауричева. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Агропромиздат, 1989. 718 с.

25. *Русанов А. М.* Влияние антропогенных нагрузок на период биологической активности и гумус черноземов // Вестник Оренбургского государственного университета. 1999. № 2. С. 59–65. EDN: HVHSCJ

26. *Семина И. С., Андроханов В. А.* Исследования температурного режима эмбриозёмов на отвалах Калтанского угольного разреза // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2010. № 5. С. 189–195. EDN: NCTWHV

27. *Тиходеева М. Ю., Лебедева В. Х.* Практическая геоботаника (анализ состава растительных сообществ): учеб. пособие. СПб: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2015. 166 с.

28. *Урусевская И. С., Алябина И. О., Шоба С. А.* Почвенно-географическое районирование как научное направление и основа рационального землепользования // Почвоведение. 2015. № 9. С. 1020–1035. DOI: 10.7868/S0032180X15090129 EDN: UDEUOX

29. Физико-химические методы исследования почв / под ред. Н. Г. Зырина, Д. С. Орлова. М.: МГУ, 1980. 382 с.

30. *Шульгин А. М.* Климат почвы и его регулирование. Л.: Гидрометеоиздат, 1967. 302 с.

31. *Farouki O.* Thermal properties of soils. Vol. 81, No 1. Hanover, NH: US Army Corps of Engineers, Cold Regions Research and Engineering Laboratory, 1981. 136 p.

32. *Jaccard P.* Nouvelles recherches sur la distribution florale // Bulletin de la Société vaudoise des Sciences Naturelles. 1908. Vol. 44. P. 223–270.

33. *Köppen W.* Versuch einer Klassifikation der Klimate, vorzugsweise nach ihren Beziehungen zur Pflanzenwelt // Geographische Zeitschrift. 1900. Vol. 6. P. 593–611.

34. Mountain-forecast : website. URL: https://www.mountain-forecast.com (дата обращения: 10.09.2025)

35. *Ni J., Cheng Y., Wang Q., Ng C. W. W., Garg A.* Effects of vegetation on soil temperature and water content: Field monitoring and numerical modelling // Journal of Hydrology. 2019. Vol. 571. P. 494–502. DOI: 10.29133/yyutbd.754479

36. *Odriozola I., García-Baquero G., Laskurain N. A., Aldezabal A.* Livestock grazing modifies the effect of environmental factors on soil temperature and water content in a temperate grassland // Geoderma. 2014. Vol. 235. P. 347–354. DOI: 10.1016/j.geoderma.2014.08.002

37. *Petrosyan A. A., Chernysheva E. V., Pinskoy V. N., Borisov A. V.* Comparison of methods for determining microbial biomass in organo-accumulative mountainous soils of the Caucasus // Eurasian Soil Science. 2024. Vol. 57, No 12. P. 2122–2133 (in Russ.). DOI: 10.1134/S1064229324602208 EDN: TEAPSV

38. *Ryckeboer J., Mergaert J., Vaes K., Klammer S., De Clercq D., Coosemans J., Swings J. A.* Survey of bacteria and fungi occurring during composting and self-heating processes // Annals of microbiology. 2003. Vol. 53, No. 4. P. 349–410.

39. *Sokolova G. G.* The influence of terrain altitude, slope exposure and slope degree on plant spatial distribution // Acta Biologica Sibirica. 2016. Vol. 2, No 3. P. 34–45. DOI: 10.14258/abs.v2i3.1453 EDN: XQNNHR

40. *Trask J. C., Devine S. M., Fogg G. E.* Soil temperature survey in a mountain basin // Geoderma. 2020. Vol. 367. DOI: 10.1016/j.geoderma.2020.114202 EDN: POFULI

41. *Yan Y., Yan R., Chen J., Xin X., Eldridge D. J., Shao C., Xu L.* Grazing modulates soil temperature and moisture in a Eurasian steppe // Agricultural and Forest Meteorology. 2018. Vol. 262. P. 157–165. DOI: 10.1016/j.agrformet.2018.07.011 EDN: YJOHED

References

1. Abaturoy B. D. Variability of grassland forage resources and their division by a complex of herbivorous mammals in the case of joint grazing. *Arid Ecosystems*, 2024, vol. 30, no 2(99), pp. 73–80. (In Russ.) DOI: 10.24412/1993-3916-2024-2-73-80

2. Avetisyan M. G. Transformation of organic matter and soil nutrients caused by anthropogenic activity. Vestnik VGU. Seriya: Geografiya. Geoekologiya, 2018, no. 4, pp. 34–38. (In Russ.)

3. Arkhangel'skaya T. A. *Temperaturnyi rezhim kompleksnogo pochvennogo pokrova* [The temperature regime of the complex soil cover]. Moscow: GEOS, 2012. 282 p. (In Russ.)

4. Voeikov A. I. *Meteorologiya. Ch. 1. Problemy temperatury pochvy. Tipy vertikal'nogo raspredeleniya ee i otnoshenie k temperature vozdukha.* [Meteorology. Part 1. Problems of soil temperature. Types of its vertical distribution and relation to air temperature]. Saint Petersburg: Kartogr. zavedenie A. Il′ina, 1903. 224 p. (In Russ.)

5. Dokuchaev V. V. *Materialy k otsenke zemel' Nizhegorodskoj gubernii. Estestvenno-istoricheskaya chast'. Otchet Nizhegorodskomu gubernskomu zemstvu. Vyp. 1: Glavnye momenty v istorii otsenok zemel' Evropejskoj Rossii, s klassifikatsiej russkikh pochv* [Materials for assessing the lands of the Nizhny Novgorod province. The natural historical part. Report to the Nizhny Novgorod Provincial Zemstvo. Issue 1: The main moments in the history of land assessments in European Russia, with the classification of Russian soils]. Saint Petersburg: Type. Evdokimova, 1886. 391 p. (In Russ.)

6. Zakharov A. V., Makhover S. E. The effect grain-size composition on thermal conductivity of sandy soils. *Construction and Geotechnics*, 2020, vol. 11, no. 2, pp. 19–27. (In Russ.) DOI: 15593/2224-9826/2020.2.02

7. Zernov A. S., Alekseev Yu. E., Onipchenko V. G. *Opredelitel' sosudistykh rastenii Karachaevo-Cherkesskoi respubliki* [Determinant of vascular plants of the Karachay-Cherkess Republic]. Moscow: Tovarishchestvo nauchnykh izdanii KMK, 2015. 459 p. (In Russ.)

8. Ipatov V. S., Mirin D. M. *Opisanie fitotsenoza: metodicheskie rekomendatsii* [Description of phytocenosis: methodological recommendations]. Saint Petersburg: Saint Petersburg State University, 2008. 70 p. (In Russ.)

9. Kazeev K. Sh. Soldatov V. P., Shkhapatsev A. K., Shevchenko N. E., Grabenko E. A., Ermolaeva O. Yu., Kolesnikov S. I. Changes in the properties of calcareous soils after clearcutting in the coniferous-deciduous forests of the northwestern caucasus. Lesovedenie, 2021, vol. 4, no. 4, pp. 426–436. (In Russ.) DOI: 10.31857/S0024114821040069

10. Kazeev K. Sh. Ovdienko R. V., Kolesnikov S. I., Valkov V. F. Osobennosti raspredeleniya mikroorganizmov v gorno-lugovykh pochvakh Kavkazskogo biosfernogo zapovednika [Features of the distribution of microorganisms in mountain meadow soils of the Caucasian Biosphere Reserve]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Severo-Kavkazskii region. Estestvennye nauki*, 2003, no. 2, pp. 82–85. (In Russ.)

11. Kazeev K. Sh., Ter-Misakyants T. A., Kuznetsova Yu. S., Polyakov A. I., Kutuzova I. V., Mazanko M. S., Kolesnikov S. I. Vliyanie vyrubki lesa na biologicheskie svoistva gornykh pochv Zapadnogo Kavkaza [The influence of deforestation on the biological properties of mountain soils in the Western Caucasus]. *Polythematic online electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University*, 2012, no. 82, pp. 187–197. (In Russ.)

12. Kondratiev K. Ya. *Aktinometriya* [Actinometry]. Leningrad: Gydrometeoizdat, 1965. 692 p. (In Russ.)

13. Kondratiev K. Ya., Pivovarova Z. I., Fedorov M. P. *Radiatsionnyj rezhim naklonnykh poverkhnostej* [Radiation regime of inclined surfaces]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1965. 215 p (In Russ.)

14. Kostychev P. A. *Pochvy chernozemnoj oblasti Rossii, ikh proiskhozhdenie, sostav i svojstva. Ch. 1. Obrazovanie chernozema* [Soils of the chernozem region of Russia, their origin, composition and properties. Part 1. Formation of chernozem]. Saint Petersburg: Devrien A. F., 1886. 230 p. (In Russ.)

15. Kuznetsov B. F., Klibanova Yu. Y. Fizicheskie osnovy i matematicheskaya model′ vozniknoveniya radiatsionnykh zamorozkov [Physical foundations and mathematical model of the occurrence of radiation frosts]. In *Problemy i perspektivy ustojchivogo razvitiya agropromyshlennogo kompleksa: Materialy Vseros. nauch.-prakt. konf. (Irkutsk, 15–16 noyabrya 2018 g.).* Irkutsk, 2018, pp. 186–194. (In Russ.)

16. Kurashev A. S. Antekologiya zlakov al'piiskogo poyasa severo-zapadnogo Kavkaza [Antecology of cereals of the Alpine belt of the north-western Caucasus]. *Byulleten' Moskovskogo obshchestva ispytatelei prirody. Otdel biologicheskii*, 2012, vol. 117, no. 2, pp. 56–64. (In Russ.)

17. Makhatkov I. D., Ermolov Yu. V. Spatial variation of the root zone layer temperature in the northern taiga of West Siberia. *The Journal of Soils and Environment.* 2019, vol. 2(4), pp. 4–15. DOI: 10.31251/pos.v2i4.105. (In Russ.)

18. Mokhov I. I. *Klimat. Bol'shaya rossijskaya entsiklopediya: nauchno-obrazovatel'nyj portal* [Climate. Great Russian Encyclopedia: scientific and educational portal]. (In Russ.) URL: https://bigenc.ru/c/klimat-780c32/?v=7756332 (Accessed 7 June 2023).

19. Neustruev S. S. *Elementy geografii pochvy.* [Elements of soil geography]. Leningrad: Gosudarstvennoe sel'skokhozyaistvennoe izdatel'stvo, 1930. 240 p. (In Russ.)

20. Pinskoy V. N., Kashirskaya N. N., Idrisov I. A., Yeltsov M. V., Borisov A. V. Soils of agricultural terraces on carbonate rocks of the Eastern Caucasus. *Regional geosystems*, 2022, vol. 46, no. 1, pp. 5–13. (In Russ.) DOI: 10.52575/2712-7443-2022-46-1-5-13

21. Podrezova Yu. A. Modern climate change in the central and southern partsof the forest-steppe zone of the Russian Plain. *Geographical Bulletin*, 2025, no. 2(73), pp. 105–115. (In Russ.) DOI: 10.17072/2079-7877-2025-2-105-115

22. *Polevoi opredelitel' pochv / pod red. N. B. Khitrov* [Field soil determinant / edited by N. B. Khitrov]. Moscow: Pochvennyi institut imeni V. V. Dokuchaeva, 2008. 182 p. (In Russ.)

23. Ponomarenko E. A., Kolomina T. M. Vozdeistvie vypasa skota na biotsenozy Priol'khon'ya i ostrova Ol'khon (ozero Baikal) [The impact of cattle grazing on the biocenoses of the Volga region and Olkhon Island (Lake Baikal)]. In *Klimat, ekologiya, sel'skoe khozyaistvo Evrazii, Materialy IX mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, Irkutsk, 21–22 maya 2020 goda. p. Molodezhnyi: Irkutskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet im. A.A. Ezhevskogo*, 2020, pp. 107–115. (In Russ.)

24. Kaurichev I. S., Panov N. P. Pink N. N., Stratonovich M. V. Fokin A. D. *Pochvovedenie: ucheb. dlya vuzov po spets "Agrokhimiya i pochvovedenie"* [Soil science: textbook. for universities on spec. "Agrochemistry and soil science"]. Moscow: Agropromizdat, 1989. 718 p. (In Russ.)

25. Rusanov A. M. Vliyanie antropogennykh nagruzok na period biologicheskoi aktivnosti i gumus chernozemov [Influence of anthropogenic loads on the period of biological activity and humus of chernozems]. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*, 1999, no. 2, pp. 59–65. (In Russ.)

26. Semina I. S., Androkhanov V. A. Issledovaniya temperaturnogo rezhima embriozemov na otvalakh Kaltanskogo ugol'nogo razreza [Studies of the temperature regime of embryozems in the dumps of the Kaltan coal mine]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal)*, 2010, no. 5, pp. 189–195. (In Russ.)

27. Tichodeeva M. Yu., Lebedeva V. H. *Prakticheskaya geobotanika (analiz sostava rastitel'nykh soobshchestv): uchebnoe posobie* [Practical geobotany (analysis of the composition of plant communities): studies. Stipend]. Saint Petersburg: Izdatel'stvo Sankt-Peterburgskogo universiteta, 2015. 166 p. (In Russ.)

28. Urusevskaya I. S., Alyabina I. O., Shoba S. A. Soil-geographical zoning as a scientific direction and the basis of rational land use. *Eurasian soil science*, 2015, no 9, pp. 1020–1035. (In Russ.) DOI: 10.7868/S0032180X15090129

29. *Fiziko-khimicheskie metody issledovaniya pochv / pod red. N. G. Zyrina, D. S. Orlova* [Physico-chemical methods of soil research / edited by N. G. Zyrin, D. S. Orlov]. Moscow: MGU, 1980. 382 p. (In Russ.)

30. Shulgin A. M. *Klimat pochvy i ego regulirovanie* [Soil climate and its regulation]. Leningrad: Hydrometeoizdat, 1967. 302 p. (In Russ.)

31 Farouki O. Thermal properties of soils, vol. 81, no 1. Hanover, NH: US Army Corps of Engineers, Cold Regions Research and Engineering Laboratory, 1981. 136 p.

32. Jaccard P. Nouvelles recherches sur la distribution florale. *Bulletin de la Société vaudoise des Sciences Naturelles*, 1908, vyp. 44, pp. 223–270.

33. Köppen W. Versuch einer Klassifikation der Klimate, vorzugsweise nach ihren Beziehungen zur Pflanzenwelt. *Geographische Zeitschrift*, 1900, vol. 6, pp. 593–611.

34. *Mountain-forecast*: website. URL: https://www.mountain-forecast.com/ (Accessed 10 September 2025).

35. Ni J., Cheng Y., Wang Q., Ng C. W. W., Garg A. Effects of vegetation on soil temperature and water content: Field monitoring and numerical modelling. *Journal of Hydrology*, 2019, vol. 571, pp. 494–502. DOI: 10.29133/yyutbd.754479

36. Odriozola I., García-Baquero G., Laskurain N. A., Aldezabal A. Livestock grazing modifies the effect of environmental factors on soil temperature and water content in a temperate grassland. *Geoderma*, 2014, vol. 235, pp. 347–354. DOI: 10.1016/j.geoderma.2014.08.002

37. Petrosyan A. A., Chernysheva E. V., Pinskoy V. N., Borisov A. V. Comparison of methods for determining microbial biomass in organo-accumulative mountainous soils of the Caucasus. *Eurasian Soil Science*, 2024, vol. 57, no 12, pp. 2122–2133 (in Russ.). DOI: 10.1134/S1064229324602208

38. Ryckeboer J., Mergaert J., Vaes K., Klammer S., De Clercq D., Coosemans J., Swings J. A. Survey of bacteria and fungi occurring during composting and self-heating processes. *Annals of microbiology*, 2003, vol. 53, no. 4, pp. 349–410.

39. Sokolova G. G. The influence of terrain altitude, slope exposure and slope degree on plant spatial distiribution. *Acta Biologica Sibirica*, 2016, vol. 2, no 3, pp. 34–45. DOI: 10.14258/abs.v2i3.1453

40. Trask J. C., Devine S. M., Fogg G. E. Soil temperature survey in a mountain basin. *Geoderma*, 2020, vol. 367. DOI: 10.1016/j.geoderma.2020.114202

41. Yan Y., Yan R., Chen J., Xin X., Eldridge D. J., Shao C., Xu L. Grazing modulates soil temperature and moisture in a Eurasian steppe. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2018, vol. 262, pp. 157–165. DOI: 10.1016/j.agrformet.2018.07.011

Статья поступила в редакцию: 12.11.25, одобрена после рецензирования: 22.01.26, принята к опубликованию: 11.06.26.

The article was submitted: 12 November 2025; approved after review: 22 January 2026; accepted for publication: 11 June 2026.

Информация об авторах
Виктор Николаевич Пинской
Кандидат географических наук,
научный сотрудник
лаборатории археологического почвоведения,
Институт физико-химических и биологических
проблем почвоведения Российской академии наук;
142290, г. Пущино, ул. Институтская, д. 2
ORCID: 0000-0002-7463-5186, SPIN-код: 6354-2516,
РИНЦ AuthorID: 800772

Information about the authors
Viktor N. Pinskoy
Candidate of Geographical Sciences,
Researcher, Laboratory of Archaeological Soil Science,
Institute of Physicochemical and Biological Problems
in Soil Science of the Russian Academy of Sciences;
2, Institutskaya st., Pushchino, 142290, Russia
ORCID: 0000-0002-7463-5186, SPIN-code: 6354-2516,
eLibrary AuthorID: 800772

e-mail: pinskoy@inbox.ru

Виктория Александровна Маханцева
Младший научный сотрудник лаборатории карбомониторинга наземных экосистем, Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения Российской академии наук; 142290, г. Пущино, ул. Институтская, д. 2
ORCID: 0000-0001-5252-391X, SPIN-код: 6946-2635, РИНЦ AuthorID: 926799

Victoria A. Makhantceva
Junior Researcher, Laboratory of Carbon Monitoring of Terrestrial Ecosystems, Institute of Physicochemical and Biological Problems in Soil Science of the Russian Academy of Sciences; 2, Institutskaya st., Pushchino, 142290, Russia
ORCID: 0000-0001-5252-391X, SPIN-code: 6946-2635, eLibrary AuthorID: 926799

e-mail: victoriamakhantceva@gmail.com

Игорь Алексеевич Шаев
Кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории археологического почвоведения, Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения Российской академии наук; 142290, г. Пущино, ул. Институтская, д. 2
ORCID: 0009-0006-9990-967X, SPIN-код: 4039-6124, РИНЦ AuthorID: 1267562

Igor A. Shaev
Candidate of Biological Sciences, Researcher, Laboratory of Archaeological Soil Science, Institute of Physicochemical and Biological Problems in Soil Science of the Russian Academy of Sciences; 2, Institutskaya st., Pushchino, 142290, Russia
ORCID: 0009-0006-9990-967X, SPIN-code: 4039-6124, eLibrary AuthorID: 1267562

e-mail: algimantas444@mail.ru

Елена Владиславовна Чернышева
Кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории археологического почвоведения, Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения Российской академии наук; 142290, г. Пущино, ул. Институтская, д. 2
ORCID: 0000-0002-8526-4798, SPIN-код: 9076-9791, РИНЦ AuthorID: 761467

Elena V. Chernysheva
Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Laboratory of Archaeological Soil Science, Institute of Physicochemical and Biological Problems in Soil Science of the Russian Academy of Sciences; 2, Institutskaya st., Pushchino, 142290, Russia
ORCID: 0000-0002-8526-4798, SPIN-code: 9076-9791, eLibrary AuthorID: 761467

e-mail: chernysheva1988@gmail.com

Александр Владимирович Борисов
Кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией археологического почвоведения, Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения Российской академии наук; 142290, г. Пущино, ул. Институтская, д. 2
ORCID: 0000-0001-5031-7477, SPIN-код: 3472-8123, РИНЦ AuthorID: 76360

Alexander V. Borisov
Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher, Head of the Laboratory of Archaeological Soil Science, Institute of Physicochemical and Biological Problems in Soil Science of the Russian Academy of Sciences; 2, Institutskaya st., Pushchino, 142290, Russia
ORCID: 0000-0001-5031-7477, SPIN-code: 3472-8123, eLibrary AuthorID: 76360

e-mail: a.v.borisovv@gmail.com

Вклад авторов
Пинской В. Н. – обработка материалов, написание статьи.
Маханцева В. А. – геоботаническое описание.
Шаев И. А. – редактирование текста статьи.
Чернышева Е. В. – почвенные анализы.
Борисов А. В. – идея, организация экспедиции.
Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors
Viktor N. Pinskoy – processing of the materials; writing of the article.
Victoria A. Makhantceva – geobotanical description.
Igor A. Shaev – text editing.
Elena V. Chernysheva – soil analyses.
Alexander V. Borisov– the idea; organization of the expedition.
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.