БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Экология

УДК 631.445.57(571.56-191.2)
https://doi.org/10.31242/2618-9712-2025-30-3-416-426

CC BY 4.0

Оригинальная статья

Почвы тукуланов Лено-Вилюйского междуречья

Р. В. Десяткин[1], А. З. Иванова✉[,1], М. В. Оконешникова[1], А. Р. Десяткин[1,2], Н. В. Филиппов[1]

[1]*Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, г. Якутск, Российская Федерация*
[2]*Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, г. Якутск, Российская Федерация*

✉*madalexia@mail.ru*

Аннотация
Исследованы не изученные ранее почвы широко распространенных в Центральной Якутии песчаных массивов – тукуланов. Почвообразующими породами на больших площадях региона выступают древнеаллювиальные легкие по гранулометрическому составу почвообразующие породы дочетвертичного возраста. В голоцене на этих породах начала формироваться светлохвойная тайга, но большие площади вдоль долин рек оставались без растительного покрова и были заняты крупными массивами перевеваемых песков. В настоящее время в условиях происходящих естественных (динамика климата) и антропогенных воздействий (лесные пожары, вырубки и промышленное освоение) происходит заметное расширение безлесных пространств и наблюдается формирование молодых массивов перевеваемых песков. При этом, с одной стороны, наблюдается погребение естественного почвенного покрова, а с другой – эоловая деградация почв на лишенных растительного покрова площадях. Целью данной работы стало исследование свойств основных типов почв, сформированных как на динамичных, так и на закрепленных растительностью участках тукуланов Лено-Вилюйского междуречья. Во время маршрутных исследований применялись сравнительно-географический и профильно-генетический методы, определение основных физико-химических параметров почвы выполнялось с помощью общепринятых в почвоведении методик. Исследования показали, что на территории распространения легких по гранулометрическому составу пород эолово-древнеаллювиального генезиса распространены мерзлотные боровые песчаные почвы с простым слабодифференцированным и сложным полициклическим профилями. Последние характеризуются признаками погребения. На относительно более увлажненных послепожарных участках строение почвы и ее свойства могут быть осложнены также криотурбационными процессами. Все почвы преимущественно слабокислые, малопродуктивные, характеризуются небольшой суммой обменных оснований и очень низким содержанием гумуса. Криотурбированная почва среднекислая, отличается более выраженными признаками иллювиирования железа и равномерным распределением органического вещества в трансформированной части профиля. Замещение типичных таежных ландшафтов «пустынными» поверхностными образованиями полностью трансформирует растительно-почвенный покров территории, отрицательно влияя на продуктивность экосистемы.

Ключевые слова: тукулан, почва, Центральная Якутия, пески, эоловый процесс, криолитозона
Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ (проект № 0297-2021-0026, ЕГИСУ НИОКТР № АААА-А21-121012190036-6).
Благодарности. Авторы благодарят коллегу Кырбасову Татьяну Викторовну, принимавшую участие в выполнении лабораторных работ.
Для цитирования: Десяткин Р.В., Иванова А.З., Оконешникова М.В., Десяткин А.Р., Филиппов Н.В. Почвы тукуланов Лено-Вилюйского междуречья. *Природные ресурсы Арктики и Субарктики*. 2025;30(3):416–426. https://doi.org/10.31242/2618-9712-2025-30-3-416-426

 © Десяткин Р. В., Иванова А. З., Оконешникова М. В., Десяткин А. Р., Филиппов Н. В., 2025

Original article

Soils of the Tukulans on the Lena-Vilyui interfluve

Roman V. Desyatkin[1], Alexandra Z. Ivanova✉[,1], Matrena V. Okoneshnikova[1], Alexey R. Desyatkin[1,2], Nikolai V. Filippov[1]

[1]*Institute for Biological Problems of Cryolithozone, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russian Federation*
[2]*Melnikov Permafrost Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russian Federation*

✉*madalexia@mail.ru*

Abstract
This study investigates previously unexamined soils of the widespread sand massifs, known as tukulans, in Central Yakutia. The parent materials across large areas of the region consist of ancient alluvial deposits with light granulometric composition, dating back to the Quaternary period. During the Holocene, light-coniferous taiga began to form on these deposits; however, extensive areas along river valleys remained devoid of vegetation and were occupied by vast mass of wind-blown sands. Currently, under the influence of natural factors (climate dynamics) and anthropogenic impacts (forest fires, logging, and industrial development), there is a noticeable expansion of treeless areas, accompanied by the formation of young sand massifs. Simultaneously, the natural soil cover undergoes burial, whereas in areas devoid of vegetation, soils experience Aeolian degradation. The aim of this study was to analyze the composition and properties of the main soil types formed in both dynamic and those stabilized by vegetation within the Lena-Vilyui interfluve tukulans. The study employed comparative-geographical and profile-genetic methods, with the determination of key physicochemical soil parameters conducted using standard soil science methods. Results indicate that in areas dominated by light granulometric aeolian-ancient alluvial deposits, permafrost pine forest sandy soils with simple, weakly differentiated, complex polycyclic profiles are widespread. These profiles exhibit signs of burial. In relatively more humid post-fire areas, soil structure and properties are further influenced by cryoturbation processes. All soils are predominantly slightly acidic, characterized by low exchangeable base content and low humus levels. Cryoturbated soils are moderately acidic and display more pronounced iron illuviation and a uniform distribution of organic matter in the transformed soil profile. The replacement of typical taiga landscapes with “desert”-like surface formations drastically alters the vegetation and soil cover of the area, negatively affecting the ecosystem’s productivity.
Keywords: tukulan, soil, Central Yakutia, sands, aeolian process, cryolithozone
Funding. This study was conducted as part of the state assignment from the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (project No. 0297-2021-0026, reg. No. AAAA-A21-121012190036-6).
Acknowledgements. The authors thank their colleague, Tatyana Viktorovna Kyrbasova, for her participation in laboratory work.
For citation: Desyatkin R.V., Ivanova A.Z., Okoneshnikova M.V., Desyatkin A.R., Filippov N.V. Soils of the Tukulans on the Lena-Vilyui interfluve. *Arctic and Subarctic Natural Resources*. 2025;30(3):416–426. (In Russ.); https://doi.org/10.31242/2618-9712-2025-30-3-416-426

Введение

Центрально-Якутская равнина сложена преимущественно кембрийскими породами, перекрытыми мощным чехлом из континентальных и морских песков, песчаников и глин среднего и верхнего мезозоя. Почвообразующими породами рассматриваемой территории в настоящее время выступают неогеновые и четвертичные легкосуглинистые и песчаные отложения в пределах долин Лены и Вилюя, а также лёссовидные карбонатные покровные суглинки – на междуречных плато [1]. В современном рельефе Центральной Якутии особняком выделяется эоловая морфоскульптура [2]. В засушливых районах низовьев рек Вилюй, Линде и среднего течения Лены активно развеваемые пески формируют необыкновенный феномен криолитозоны – тукуланы, которые представляют собой комплексное образование, сочетающее разнообразные формы эолового рельефа различного возраста [3–5]. Наличие обширных северных «пустынь» (площадь тукуланов может превышать несколько сот квадратных километров) в зоне бореальной тайги свидетельствует о возможности замещения таежных экосистем малопродуктивными ландшафтами. Образование Вилюйской группы тукуланов

Рис. 1. Типичный ландшафт тукулана в низовьях р. Вилюй в окрестностях с. Кысыл-Сыр

Fig. 1. Typical landscape of a tukulan in the lower reaches of the Vilyuy River near the village of Kysyl-Syr

некоторые авторы [6] связывают с обширными пожарами, произошедшими около 4,5–5 тыс. лет назад, ставшими своеобразным активатором очередной, современной фазы эоловых процессов. Тогда полностью лишенные растительности эмбриональные дюнные массивы не успели закрепиться и быстро разрослись. Деградация почвенно-растительного покрова происходила из-за погребения леса дюнами и выдувания песка из-под корневой системы растений.

В криолитозоне последние десятилетия наблюдаются выраженные климатические изменения в сторону роста среднегодовых температур [7]. Изменения климата вызывают удлинение теплого периода года, уменьшение количества атмосферных осадков при существенном повышении температур, что негативно отражается на функционировании квазиравновесных мерзлотных экосистем. Также под влиянием естественных и антропогенных факторов на территории Центральной Якутии ежегодно происходит много лесных пожаров, которые уничтожают десятки и сотни тысяч гектаров леса. Как правило, на большей части площади гарей, особенно расположенных на легких породах, лесовосстановление протекает крайне замедленно [8]. На таких территориях в условиях сухого климата и в связи с хорошей отмытостью песка русловой фации древнего аллювия от песчаной пыли [9] снова увеличивается интенсивность эоловых процессов с последующим проявлением признаков образования новых и увеличением динамической активности уже существующих тукуланов (увеличение площади, изменение рельефа дюн и барханов и т. д.).

Почвенный покров современных тукуланов изучен очень слабо. Сведения о почвах на более старых эоловых образованиях Центральной Якутии, закрепленных растительностью, встречаются чаще [10–13].

Целью данного исследования является изучение разнообразия почв тукуланов, их состава и свойств, а также направленности динамики почвенного покрова слабоустойчивых к воздействию лесных экосистем бореальной зоны под влиянием естественных и антропогенных факторов.

Материалы и методы

Лено-Вилюйский район представлен равнинной территорией в пределах криолитозоны с резко континентальным засушливым климатом. Количество осадков около 200–250 мм. По данным метеостанции в с. Кысыл-Сыр Вилюйского улуса, расположенном недалеко от района исследования, среднемесячная температура января колеблется от –32,6 до –46,3 °С, июля – от +16,0 до +21,4°С. Продолжительность безморозного периода составляет около 80–90 дней [14]. Преобладают западно-направленные ветра.

По флористическому районированию территория относится к Центрально-Якутскому флористическому району, по лесорастительному – к Центральноякутской провинции сосново-лиственничных лесов. Во флоре тукуланов насчитывается около 70 видов сосудистых растений, среди которых преобладают специфические эндемичные виды [15]. Объектом исследования стали почвы двух крупных массивов развеваемых песков, сформированных в междуречье Лено-Вилюйского междуречья (рис. 1, 2).

Первый тукулан (участок 1, рис. 2, *а*) расположен на правом берегу р. Вилюй, в 30 км на восток от с. Кысыл-Сыр, 63°54′ с.ш., 123°16′–123°20′ в.д., на высоте 97–111 м н.у.м. в пределах нижней границы нижнего уровня аллювиальной равнины Вилюйского бассейна [9], которая относится к межаласному типу местности Вилюйской аласной провинции группы среднетаежных провинций сплошного распространения многолетнемерзлых пород [16]. В районе данного тукулана распространены сосняки толокнянково-лишайниковые преимущественно на сухих местопроизрастаниях или послепожарные мертвопокровные сосняки [17]. Здесь было вскрыто и описано два почвенных разреза: на окраине (разрез 2) и в центре тукулана (разрез 3).

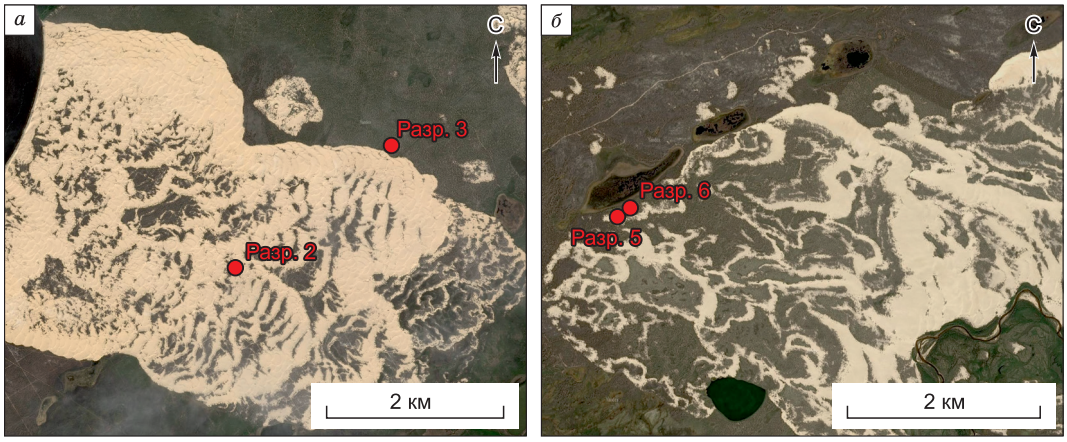

Рис. 2. Места заложения разрезов на тукуланах Лено-Вилюйского междуречья (*а* – участок 1; *б* – участок 2)

Fig. 2. Locations of soil profiles on the tukulans of the Lena-Vilyui Interfluve (*а* – site 1; *б* – site 2)

Второй тукулан (участок 2, рис. 2, *б*) находится в 100 км к югу от первого, 63°18′–63°19′ с.ш., 123°42′–123°44′ в.д., на высоте 178–200 м н.у.м. на верхнем уровне древней аллювиальной равнины Вилюйского бассейна, которая относится к средневысотному террасовому типу местности Вилюйской аласной провинции. Основным типом растительного сообщества является сосняк брусничнo-багульниково-лишайниковый на среднеувлажненных местах произрастания [17]. Здесь было вскрыто и описано два почвенных разреза с признаками погребения в деятельной части профиля почвы (разрезы 5 и 6).

Район сложен мощной толщей древнего аллювия с широким распространением грунтовых льдов на нерасчлененных участках. Литогенная основа межаласного типа местности представлена ледовым комплексом [18]. Мощность повторно-жильных льдов (ПЖЛ) колеблется от 10–15 до 60–70 м, преобладающими криогенными текстурами супесчано-суглинистых пород являются слоистые, линзовидные и сетчатые, песчаных – массивные. Объемная льдистость пород с учетом ПЖЛ 45–85 %. Температура мерзлых пород от –2 до –4 °С [18–22]. Мощность сезонно-талого слоя изменяется от 1,0–1,3 м в районе первого тукулана до 1,8–2,5 м во втором [16].

Во время экспедиционных маршрутов производились почвенно-географические, морфогенетические исследования по общепринятым методикам. При проведении почвенных исследований использовались сравнительно-географический, сравнительно-аналитический [23] и профильно-генетический [24] методы, а при выполнении химико-аналитических работ – общепринятые в почвоведении химические и физико-химические методы [25, 26]. Несиликатная форма железа была определена с помощью дитионитовой вытяжки по методу Мера–Джексона. Коэффициент корреляции был подсчитан в программе Excel. Разделение ландшафтов на типы производилось на основе известных принципов [27]. Названия почв даны согласно списку, приведенному в Едином государственном реестре почвенных ресурсов России [28, 29], а также в соответствии с классификацией почв в Международной реферативной базе по почвенным ресурсам [30]. С учетом специфики развития почв Якутии в зоне многолетнемерзлых пород все типы почв, в том числе боровые, были названы «мерзлотными» [31].

Результаты и обсуждение

Установлено, что на территории распространения легких по гранулометрическому составу пород эолово-древнеаллювиального генезиса под естественными светлохвойными разреженными лесами широко развиты мерзлотные боровые песчаные почвы с простым, слабодифференцированным и сложным полициклическим профилями. Все разновидности почв в разной степени подвержены периодическому влиянию низовых лесных пожаров, активизирующему проявление эоловых процессов.

Разрез 2 (63°54′07,05″ с.ш., 123°16′56,28″ в.д., 111 м н.у.м.) вскрыт в постепенно погребаемом толокнянково-лишайниковом сосняке с подветренной стороны песчаной дюны (участок 1, рис. 3). Деревья на участке здоровые, но на засыпанной песком части много засыхающих деревьев, древостой среднесомкнутый, возраст

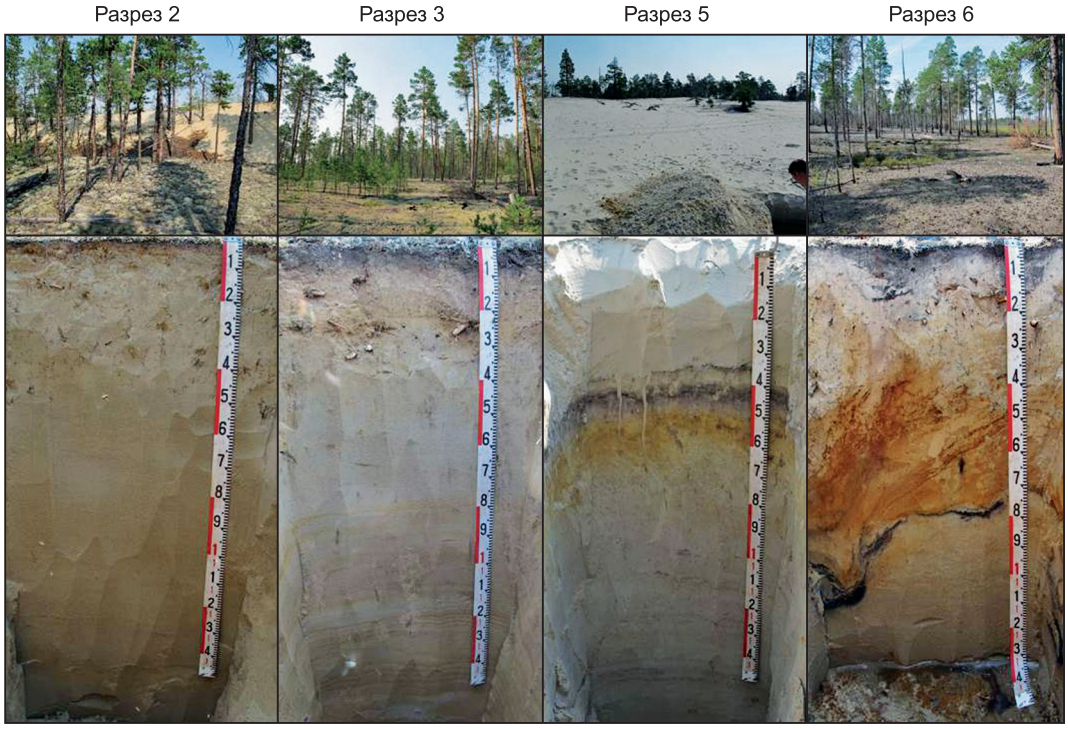

Рис. 3. Исследованные профили песчаных почв тукуланов

Fig. 3. Investigated profiles of tukulan sandy soils

около 80 лет. Проективное покрытие исходного сосняка около 30 %, господствует толокнянка (*Arctos taphylos uva-ursi*). В мохово-лишайниковом покрове распространены *Cladonia rangiferina*, *C. stellaris*. На слабозакрепленном песчаном склоне встречаются овсяница ленская (*Festuca lenensis*), щавель злаколистный (*Acetosella graminifolia*) [17]. Приближающиеся песчаные дюны достигают высоты 2–4 м. Почва сформирована на чуть более древних эолово-аллювиальных отложениях, чем движущиеся на нее пески тукулана. Почва: мерзлотная боровая песчаная, переходная в сторону подбура (в системе WRB Protic Arenosols (Ochric)). Строение профиля Oao,pir(0–2 см) – ABf(2–5 см) – BC(5–15/20 см) – C(15/20–45/52 см) – C′(45/52–130 см) – C″(130–180 см). Морфологический профиль почвы генетически слабо дифференцирован: подстилочно-грубогумусовый маломощный слой имеет признаки горения, сменяется небольшим буровато-охристым переходным гумусово-минеральным горизонтом, ниже залегают пески светло-серовато-бурой окраски, немного светлеющие с глубиной, со слабовыраженной слоистостью. Охристый оттенок грунта под органогенным слоем, скорее всего, связан с окислением до трехвалентного железа в песчаной почве под действием высоких температур во время пожаров [8, 32], а также воздействием экзогенных факторов (воздуха и влаги).

Гранулометрический состав почвы в разрезе 2 рыхлопесчаный (см. таблицу). Содержание органического углерода во всех минеральных горизонтах очень низкое, реакция среды колеблется от кислой до близкой к нейтральной, pH почв увеличивается с глубиной.

Разрез 3 (63°54′51,99″ с.ш., 123°19′12,13″ в.д., 100 м н.у.м.) был описан под лишайниковым сосняком в центре частично закрепленного растительностью тукулана (см. участок 1, рис. 3), поверхность ровная, со всех сторон окружена песками. Островки с сосновым лесом посреди тукулана локализуются в понижениях мезорельефа и на участках с наибольшим количеством деревьев. На не закрепленных растительностью частях тукулана изредка встречается из злаков *Elytrigia villosa* [17]. Почва: мерзлотная боровая песчаная слабооподзоленная (Epialbic Arenosols в системе WRB). Строение профиля: O(0–3 см) – A(3–8/10 см) – E(8/10–13/20 см) – Bf(13/20–25/26 см) – BC(25/26–76 см) – C(76–180 см) – C′(180–200 см). Морфологический профиль такой

Физико-химические свойства почв

Physical and chemical properties of soils

Горизонт	Глубина отбора, см	pH (H_2O)	$C_{орг}$, %*	Обменные катионы, ммоль/100 г		Гидролитическая кислотность	Насыщенность, %	Fe (несиликатное), %	Сумма частиц (мм), %	
				Ca2+	Mg2+				<0,001	<0,01
Разрез 2										
ABf	2-5	4,88	0,71	0,38	0,20	6,53	8,2	–**	0,5	1,1
BC	5-15(20)	5,28	0,11	0,31	0,15	0,23	66,7	–	0,3	0,9
C	15(20)-45(52)	5,42	0,05	0,16	0,19	–	–	–	0,1	0,7
C′	45(52)-130	6,04	0,01	0,36	0,20	–	–	–	0,3	0,7
C″	130-180	6,17	0,01	0,38	0,20	–	–	–	3,9	4,3
Разрез 3										
A	3-8(10)	5,26	6,28	2,60	0,95	1,98	64,2	–	1,3	4,8
E	8(10)-13(20)	5,33	0,75	0,40	0,20	0,53	53,1	–	0,7	3,5
Bf	13(20)-25(26)	5,11	0,56	0,25	0,15	0,64	38,5	–	3,9	6,3
BC	25(26)-76	5,49	0,03	0,10	0,05	–	–	–	3,9	4,7
C	76-180	5,57	0,02	0,18	0,08	–	–	–	3,9	4,3
C′	180-200	5,83	0,02	0,28	0,16	–	–	–	3,9	4,5
Разрез 5										
CA	33(37)-40(43)	5,34	0,14	0,06	0,03	–	–	0,054	3,5	3,9
[AE]	40(43)-48(50)	5,32	0,30	0,06	0,03	0,29	23,7	0,053	3,9	4,9
[BF]	48(50)-65(68)	5,23	0,16	0,08	0,02	–	–	0,259	3,5	4,3
[BC]	65(68)-140	5,35	0,03	0,08	0,03	–	–	0,031	3,7	4,7
[C]	140-160	5,84	0,02	0,17	0,04	–	–	0,029	3,9	4,5
[C′]	160-180	5,87	0,02	0,17	0,06	–	–	0,073	0,1	0,5
Разрез 6										
Oao,pir	0-2	4,95	19,9*	0,38	0,25	6,81	8,5	0,557	–	–
A	2-5(15)	3,83	2,09	0,20	0,23	4,42	8,9	0,150	0,1	2,3
[E, EB, Bf]@	5(15)-10(17)	4,20	0,30	0,08	0,07	0,87	14,7	0,037	0,3	1,1
	10(17)-30(40)	4,59	0,17	0,06	0,05	0,52	17,5	0,126	0,1	0,5
	30(40)-70(100)	4,71	0,29	0,06	0,05	0,81	12,0	0,173	3,9	4,3
[AOpir]	70(100)-72(110)	4,60	17,5*	0,15	0,13	5,03	5,3	0,767	7,0	13,5
[C]	72(110)-135	5,11	0,04	0,05	0,02	–	–	0,059	3,7	4,1

* Потеря при прокаливании, % / loss on ignition, %.

** Не определялось в данном образце / not determined in this sample .

почвы близок по строению к подзолам и относительно ясно дифференцирован на генетические горизонты: под небольшим гумусовым горизонтом залегает оподзоленный слой с белесыми и бурыми пятнами, сменяющийся буровато-охристым иллювиальным горизонтом. Гранулометрический состав песчаный с незначительным повышением содержания илистых частиц в нижней части профиля. Реакция среды вниз по профилю меняется от среднекислой до близкой к нейтральной, в связи с чем гидролитическая кислотность в незначительных количествах проявляется только в верхней половине профиля. В нижележащих слоях на светло-сером фоне присутствуют многочисленные ржавые пятна и полоски, свидетельствующие об окислительной обстановке и накоплении в них окисных форм железа.

В пределах активно развивающейся части второго тукулана (участок 2) под наносом однородного песка различной мощности обнаруживают-

ся погребенные мерзлотные боровые слабооподзоленные песчаные почвы (в системе WRB Epialbic Arenosols (Aeolic)). Разрез 5 (63°19′24,72″ с.ш., 123°42′15,44″ в.д., 178 м н.у.м.) был заложен в чаше выдувания на западной стороне тукулана (см. рис. 3). Растительность практически отсутствует. Встречается *Acetosella graminifolia* в вегетирующем состоянии, а также имеются островки сосняков на повышенных местах [17]. Строение профиля: C(0–33/37 см) – CA(33/37–40/43 см) – [AE](40/43–48/50 см) – [BF](48/50–65/68 см) – [BC](65/68–140 см) – [C](140–160 см) – [C′](160–180 см). Профиль почвы характеризуется наличием сверху мощного (около 40 см) песчаного наноса, под которым четко выделяются погребенные гумусово-элювиальный и иллювиально-железистый горизонты с многочисленными включениями углей. В погребенной мерзлотной боровой песчаной слабооподзоленной почве передвижения мелких частиц физической глины, в том числе ила, не наблюдается, только в иллювиальном горизонте обнаружено относительное повышение фракции крупной и мелкой пыли. Следует отметить разорванность и расслоенность погребенного гумусово-элювиального горизонта. Реакция среды слабокислая и в нижней части профиля близкая к нейтральной. Содержание органического вещества и обменных катионов очень низкое.

На чуть более низинных участках современных тукуланов, закрепленных растительностью, под мертвопокровными сосняками были описаны мерзлотные боровые оподзоленные криотурбированные постпирогенные песчаные почвы с полициклическим профилем, содержащие под иллювиальным горизонтом погребенный грубогумусовый горизонт (Albic Arenosols (Gelic, Protospodic, Turbic) в системе WRB) – разрез 6 (63°19′25,01″ с.ш., 123°42′11,07″ в.д., 177 м н.у.м.). Исходный тип леса – сосняк бруснично-багульниковый (возраст около 100 лет), образованный после беглого низового пожара средней интенсивности (нагар на деревьях на высоте до 2 м), который уничтожил подстилку, живой напочвенный покров. Напочвенное проективное покрытие достигает 10 %, отмечается рассеянное произрастание *Ledum palustre, Vaccinium vitis-idaea* [17]. Строение почвенного профиля: Oao,pir(0–2 см) – A(2–5/15 см) – [E,EB,BF]@(5/15–70/100 см) – [AOpir](70/100–72/110) – [C](72/110–135 см). Отличительными особенностями профиля данного разреза являются, во-первых, его криотурбированность, которая проявилась в виде вихревого рисунка минеральной массы и погребенных фрагментов органогенного горизонта, а также в насыщении минеральной массы растительными углистыми остатками, во-вторых, высокая переувлажненность нижней части профиля –горизонт C мокрый, по стенкам сочится вода. Погребенный грубогумусовый слой с угольками (ППП 17,5 %) и высоким содержанием илистых частиц (7 %) расположен на глубине 70–72 см, над ним выделяется заметно выраженный по окраске ярко-охристый иллювиальный горизонт, который в свою очередь сыграл своеобразную экранирующую роль для нисходящего потока веществ и поспособствовал аккумуляции органожелезистых соединений и ила. Несмотря на преимущественно рыхлопесчаный гранулометрический состав, отмечается значительная дифференциация илистых частиц – обеднение ими оподзоленных горизонтов и накопление их в иллювиальном горизонте. Реакция среды сильнокислая и кислая, т. е. по сравнению с вышеописанными почвами данная почва самая кислая, насыщенность почвенно-поглощающего комплекса основаниями очень низкая.

В почвах с заметно дифференцированным профилем (разрезы 5 и 6) наблюдается распределение несиликатного (свободного) железа с минимумами содержания в оподзоленных горизонтах и высокими скачкообразными максимумами – в иллювиально-железистых, что указывает на активность процесса подзолообразования. Также показатель содержания несиликатного (свободного) железа может говорить о степени выветрелости и, соответственно, «зрелости» почв. В разрезе 5 были выявлены наиболее низкие значения, что вполне закономерно, так как почва находится в пределах самой динамичной части тукулана. Разрез 6 был сформирован на частично закрепленном участке тукулана. Здесь процессы гумусонакопления и преобразования почвенной массы выражены сильнее, и верхняя часть почвы (от поверхности до погребенного органогенного слоя) по морфологии относится к стволу постлитогенного почвообразования, на что указывают и более высокие значения содержания свободного железа (судя по окраске преобладают сильно кристаллизованные формы). Накопление железа в поверхностных и погребенных органогенных горизонтах с высоким содержанием органики (потеря при прокаливании более 17 %) выше, чем в других слоях. Коэф-

фициент корреляции содержания несиликатного железа с содержанием органического вещества в горизонтах с показателем гумуса менее 2 % характеризуется низким значением. Но при этом в почве динамичной части тукулана зависимость от данного показателя чуть ниже, чем в почве закрепленного участка (r = 0,23 и r = 0,42 соответственно). Возможно, это связано с относительно более выраженным в данном разрезе процессом железистого иллювиирования, при котором в составе ила начинают преобладать подвижные железогумусовые формы [33]. На это указывает также высокая корреляционная связь между содержанием свободного железа и долей физической глины (r = 0,82).

Заключение

Натурные наблюдения показали, что отмечаемое в настоящее время увеличение площадей тукуланов, в целом, во многом носит постпирогенную природу, как и раньше. На изученной территории практически не осталось не пройденных пожаром участков. Ввиду обширных площадей гарей, отсутствия или малой обеспеченности семенными деревьями, встреченные нами гари имеют недостаточное возобновление. Уничтожение подстилки приводит к развеванию обнажившихся песков, а самоизреживание леса приводит к интенсификации площадного роста тукуланов. Современная пожарная обстановка, сухие погодные условия вследствие глобальных изменений климата усиливают процесс «опустынивания» в регионе и способствуют трансформации лесных экосистем и фрагментации растительно-почвенного покрова.

Почвы закрепленных растительностью частей тукуланов представлены преимущественно мерзлотными боровыми оподзоленными песчаными почвами с достаточно простым строением профиля и слабым проявлением признаков элювиально-иллювиальных процессов. Почвы слабокислые (за исключением криотурбированной), малогумусные, слабо насыщенные основаниями. На активных в настоящее время участках тукуланов встречаются профили, осложненные криотурбационными процессами, где под мощным наносом песка вскрываются погребенные почвы. При этом цикличность исследованных песчаных почв не слишком высока – в пределах деятельного слоя почвы вскрывается только один погребенный гумусовый горизонт, что говорит о том, что в процессе формирования этих профилей была продолжительная фаза сухой эоловой седиментации и более редкие относительно влажные периоды закрепления растительностью. Криотурбации были отмечены только в одном профиле почвы (разрез 6), которая по описанию была наиболее увлажнена, располагалась в небольшой депрессии и постоянно подвергалась воздействию пожаров. Таким образом, на примере почвы разреза 6 следует вывод о том, что, несмотря на очень глубокое залегание многолетнемерзлых пород, криогенные процессы могут сильно влиять на трансформацию строения и свойств верхней половины профиля почв тукуланов в зависимости от динамики гидротермических условий. Криотурбированная почва среднекислая, отличается более выраженными признаками иллювиирования железа и равномерным распределением органического вещества в трансформированной части профиля.

Почвы тукуланов в силу их эолового происхождения считаются интразональными. Это относительно молодые некарбонатные почвы, которые достаточно сильно отличаются по гранулометрическому составу, реакции среды и видам преобладающих почвенных процессов от мерзлотных палевых почв, являющихся зональным типом для террас и водоразделов Центральной Якутии. Для нейтральных и слабощелочных суглинистых палевых почв характерно метаморфическое изменение срединных горизонтов, для кислых песчаных почв тукуланов – альфегумусовое подзолообразование. Все различия обусловлены разницей в составе почвообразующей породы. Тукуланы характеризуются развитием бедных по составу почв с низким плодородием, и их продолжающееся обширное распространение в Лено-Вилюйском междуречье, замещение ими типичных таежных ландшафтов приводит не только к изменению растительно-почвенного покрова, но и к снижению общей биологической продуктивности территории.

Список литературы / References

1. Гвоздецкий Н.А., Михайлов Н.И. Физическая география СССР. *Азиатская часть*. М.: Мысль; 1978. 512 с.

Gvozdetsky N.A., Mikhailov N.I. *Physical geography of the USSR: The Asian region*. Moscow: Mysl' Publ.; 1978. 512 p. (In Russ.)

2. *Якутия*. Отв. ред. С.С. Коржуев. М.: Наука; 1965. 467 с.

Yakutia. Korzhuev S.S. (ed.) Moscow: Nauka; 1965. 467 p. (In Russ.)

3. Галанин А.А., Павлова М.Р., Шапошников Г.И., Лыткин В.М. Тукуланы: песчаные пустыни Якутии. *Природа*. 2016;1215(11):44–55.

Galanin A.A., Pavlova M.R., Shaposhnikov G.I., Lytkin V.M. Tukulans: sandy deserts of Yakutia. *Priroda*. 2016;1215(11):44–55. (In Russ.)

4. Данилов Ю.Г., Федоров А.Н., Дегтева Ж.Ф. и др. *Ландшафты Якутии*. Якутск: Издательский дом СВФУ; 2016. 76 с.

Danilov Yu.G., Fedorov A.N., Degteva Zh.F., et al. *Landscapes of Yakutia*. Yakutsk: NEFU Publishing House; 2016. 76 p. (In Russ.)

5. Лукин В.В. Тукуланы – типичные ландшафты Центральной Якутии: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Якутск. 2023.23 с.

Lukin V.V. Tukulans as typical landscapes in Central Yakutia: Abstr. … Diss. Cand. Sci., Yakutsk. 2023. 23 p. (In Russ.)

6. Павлова М.Р., Галанин А.А., Рудая Н.А. Палинологические и радиоуглеродные данные о верхнечетвертичных отложениях дюнного массива – тукулан Кысыл-Сырский (Центральная Якутия). *Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата*. 2016;7(1):100–107.

Pavlova M.R., Galanin A.A., Rudaya N.A. Palynological and radiocarbon data from Late Quaternary sediments of the dune massif – Tukulan Kysyl-Syrskiy (Central Yakutia). *Environmental Dynamics and Global Climate Change*. 2016;7(1):100–107. (In Russ.)

7. *Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2020 год*. М.: Росгидромет; 2021. 104 с.

A report on climate features on the territory of the Russian Federation in 2020. Moscow: Roshydromet Publ.; 2021. 104 p. (In Russ.)

8. Десяткин Р.В., Николаева М.Х., Иванова А.З. и др. Влияние крупных лесных пожаров 2021 года на растительность и почвы на территории распространения легких почвообразующих пород Центральной Якутии. *Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева*. 2024;(118): 231–275. https://doi.org/10.19047/0136-1694-2024-118-231-275

Desyatkin R.V., Nikolaeva M.Ch., Ivanova A.Z., et al. The impact of 2021 large forest fires on vegetation and soils, on the territory of distribution of light soil-forming rocks in Central Yakutia. *Dokuchaev Soil Bulletin*. 2024;(118):231–275. (In Russ.) https://doi.org/10.19047/0136-1694-2024-118-231-275

9. Зольников В.Г., Еловская Л.Г., Тетерина Л.В., Черняк Е.И. *Почвы Вилюйского бассейна и их использование*. М.: Издательство АН СССР; 1962. 204 с.

Zol'nikov V.G., Elovskaya L.G., Teterina L.V., Chernyak E.I. *Soils of the Vilyui River's basin and their use*. Moscow: Publishing House of the USSR Academy of Sciences; 1962. 204 p. (In Russ.)

10. Оконешникова М.В., Иванова А.З., Десяткин А.Р. и др. Почвы тукуланов бассейна реки Кенкеме (Центральная Якутия). *Природные ресурсы Арктики и Субарктики*. 2020;25(4):111–120. https://doi.org/10.31242/2618-9712-2020-25-4-9

Okoneshnikova M.V., Ivanova A.Z., Desyatkin A.R., et al. Soils of tukulans in the Kenkeme river basin (Central Yakutia). *Arctic and Subarctic Natural Resources.* 2020;25(4):111–120. (In Russ.) https://doi.org/10.31242/2618-9712-2020-25-4-9

11. Оконешникова М.В. Почвенный покров на участке перехода магистрального газопровода через р. Тюнг Вилюйского бассейна (Якутия). *Вестник КрасГАУ*. 2011;(12(63)): 82–86.

Okoneshnikova M.V. Soil cover on the site where the cross-country gas pipe-line crosses the Tung River of the Viluy basin (Yakutia). *Bulletin of KSAU*. 2011;(12(63)):82–86. (In Russ.)

12. Павлов Б.А, Вариончик С.В., Павлова М.Р. Подзолы на песках центральной Якутии. В кн.: *Отражение био-, гео-, антропосферных взаимодействий в почвах и почвенном покрове: Сборник материалов V Международной научной конференции, г. Томск, 7–11 сентября 2015 г.* Томск: Издательский дом Томского государственного университета; 2015. С. 73–75.

Pavlov B.A., Varionchik S.V., Pavlova M.R. Podzols on the sands of Central Yakutia. In: *Reflection of bio-, geo-, antropospheric interactions in soils and soil cover: Collection of materials of the 5th International Scientific Conference, Tomsk, September 7–11, 2015*. Tomsk: Publishing House of Tomsk State University; 2015, pp. 73–75. (In Russ.)

13. Скрыбыкина В.П. Подзолы Центральной Якутии. *Наука и образование*. 2017;86(2):83–90.

Skrybykina V.P. Podzols of Central Yakutia. *Nauka i Obrazovanie*. 2017; 86(2):83–90. (In Russ.)

14. *Климат Якутской АССР*. Изюменко С.А. (ред.). Л.: Гидрометеоиздат; 1968. 32 с.

Climate of the Yakut ASSR. Izyumenko S.A. (ed.). Leningrad: Hydrometeorological Publishing House; 1968. 32 p. (In Russ.)

15. Захарова В.И., Кузнецова Л.В., Иванова Е.И. и др. *Разнообразие растительного мира Якутии*. Новосибирск: Издательство СО РАН; 2005. 328 с.

Zakharova V.I., Kuznetsova L.V., Ivanova E.I. et al. *Diversity of the flora in Yakutia*. Novosibirsk: SB RAS Publishing House; 2005. 328 p. (In Russ.)

16. Федоров А.Н., Торговкин Я.И., Шестакова А.А. и др. *Мерзлотно-ландшафтная карта Республики Саха (Якутия). Масштаб 1:1 500 000*. Железняк М.Н. (ред.). Якутск: ИМЗ СО РАН; 2018.

Fedorov A.N., Torgovkin Ya.I., Shestakova A.A., et al. *Permafrost Landscape Map of the Republic of Sakha (Yakutia). Scale 1:1 500 000*. Zheleznyak M.N. (ed.). Yakutsk: Permafrost Institute SB RAS; 2018. (In Russ.)

17. Габышева Л.П. Характеристика сосновых лесов тукуланов Лено-Вилюйского междуречья. *Успехи современного естествознания*. 2020;(10):7–13. https://doi.org/10.17513/use.37483

Gabysheva L.P. Characteristics of pine forests on aeolian sandy landscapes (tukulanes) of the Lena-Vilyui interfluve. *Advances in Current Natural Sciences*. 2020;(10):7–13. (In Russ.) https://doi.org/10.17513/use.37483

18. Соловьев П.А. *Криолитозона северной части Лено-Амгинского междуречья*. М.: Изд-во АН СССР; 1959. 144 с.

Soloviev P.A. *Cryolithozone of the northern part of the Lena-Amga interfluve*. Moscow: Publishing House of the USSR Academy of Sciences; 1959. 144 p. (In Russ.)

19. Катасонова Е.Г., Толстов А.Н. Геокриологические особенности развеваемых песков (тукуланов) правобережья р. Вилюй. В кн.: *Многолетнемерзлые горные породы различных районов СССР*. М.: Изд-во АН СССР; 1963. С. 166–178.

Katasonova E.G., Tolstov A.N. Geocryological features of blown sands (tukulans) of the right bank of the Vilyuy river. In: *Permafrost rocks in various regions of the USSR*. Moscow: Publishing House of the USSR Academy of Sciences; 1963, pp. 166–178. (In Russ.)

20. Бойцов А.В., Шепелев В.В. Мерзлотно-гидрогеологические условия массива развеваемых песков Махатта (Центральная Якутия). В кн.: Пигузов В.М. (ред.) *Гидрогеологические исследования криолитозоны*. Якутск; 1976. С. 25–34.

Boitsov A.V., Shepelev V.V. Permafrost-hydrogeological conditions of the massif of blown sands Mahatta (Central Yakutia). In: Piguzov V.M. (ed.) *Hydrogeological studies of permafrost*. Yakutsk; 1976, pp. 25–34. (In Russ.)

21. *Строение и абсолютная геохронология аласных отложений Центральной Якутии*. Катасонов Е.И. (ред.). Новосибирск: Наука; 1979. 95 с.

Structure and absolute geochronology of alas deposits of Central Yakutia. Katasonov E.I. (ed.). Novosibirsk: Nauka; 1979. 95 p. (In Russ.)

22. Иванов М.С. *Криогенное строение четвертичных отложений Лено-Алданской впадины*. Новосибирск: Наука; 1984. 125 с.

Ivanov M.S. *Cryogenic Composition of Quaternary Deposits of Lena-Aldan Depression*. Novosibirsk: Nauka; 1984. 125 p. (In Russ.)

23. Роде А.А. *Система методов исследования в почвоведении*. Новосибирск: Наука; 1971. 93 с.

Rode A.A. *System of research methods in soil science*. Novosibirsk: Nauka; 1971. 93 p. (In Russ.)

24. Розанов Б.Г. *Морфология почв*. М.: Академический Проект; 2004. 432 с.

Rozanov B.G. *Soil morphology*. Moscow: Academic Project; 2004. 432 p. (In Russ.)

25. Аринушкина Е.В. *Руководство по химическому анализу почв*. М.: Издательство Московского университета; 1970. 487 с.

Arinushkina E.V. *Handbook for the Chemical Analysis of Soils*. Moscow: Moscow University Press; 1970. 487 p. (In Russ.)

26. Воробьева Л.А. *Химический анализ почв*. М.: Изд-во МГУ; 1998. 272 с.

Vorobieva L.A. *Chemical analysis of soils*. Moscow: Moscow University Press; 1998. 272 p. (In Russ.)

27. Глазовская М.А. *Геохимические основы типологии и методики исследований природных ландшафтов*. Смоленск: Ойкумена; 2002. 288 с.

Glazovskaya M.A. *Geochemical foundations of typology and research methods in natural landscapes.* Smolensk: Oikumena; 2002. 288 p. (In Russ.)

28. *Единый государственный реестр почвенных ресурсов России. Версия 1.0*. Иванов А.Л., Шоба С.А. (ред.). М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева; 2014.768 с.

Unified State Register of Soil Resources of Russia. Version 1.0. Ivanov A.L., Shoba S.A. (eds). Moscow: V.V. Dokuchaev Soil Science Institute; 2014. 768 p. (In Russ.)

29. Егоров В.В., Фридланд В.М., Иванова Е.Н. и др. *Классификация и диагностика почв СССР*. М.: Колос; 1977. 223 с.

Egorov V.V., Fridland V.M., Ivanova E.H., et al. *Classification and diagnostics of soils of the USSR*. Moscow: Kolos Publ.; 1977. 223 p. (In Russ.)

30. *IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources 2014.International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps.update 2015. World Soil Resources Reports No. 106*. Rome: FAO; 2015. 194 p.

31. Еловская Л.Г. *Классификация и диагностика мерзлотных почв Якутии*. Якутск: ЯФ СО АН СССР; 1987. 172 с.

Elovskaya L.G. *Classification and diagnostics of permafrost soils in Yakutia*. Yakutsk: YAF SB Academy of Sciences of the USSR; 1987. 172 p. (In Russ.)

32. Пискарева В.М., Кошовский Т.С., Бисикалова Е.А. и др. Влияние пожаров на свойства почв Национального Парка «Земля Леопарда» (Приморский край). *Вестник Московского университета*. Сер. 5: География. 2019;(3):11–24.

Piskareva V.M., Koshovskiy T.S., Bisikalova E.A., et al. Impact of wildfires on soil properties in the “Leopard’s Land” national park (Primorsky kray). *Moscow University Bulletin. Series 5, Geography*.2019;(3):11–24. (In Russ.)

33. Зонн С.В. *Железо в почвах (генетические и географические аспекты)*. М.: Наука; 1982. 207 с.

Zonn S.V. *Iron in soils (genetic and geographical aspects)*. Moscow: Nauka; 1982. 207 p. (In Russ.)

Об авторах

ДЕСЯТКИН Роман Васильевич, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, https://orcid.org/0000-0002-1289-5433, ResearcherID: K-5281-2018, Scopus ID: 6507832825, SPIN: 7430-6386, e-mail: rvdes@ibpc.ysn.ru

ИВАНОВА Александра Зуевна, младший научный сотрудник, https://orcid.org/0000-0002-8501-6807, ResearcherID: J-6741-2018, Scopus ID: 57216969934, SPIN: 5813-5880, e-mail: madalexia@mail.ru

ОКОНЕШНИКОВА Матрена Васильевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, https://orcid.org/0000-0002-9841-2112, ResearcherID: J-4337-2018, Scopus ID: 54411075900, SPIN: 8496-8867, e-mail: mvok@yandex.ru

ДЕСЯТКИН Алексей Романович, PhD, старший научный сотрудник, https://orcid.org./0000-0002-9597-999X, ResearcherID: G-1918-2016, Scopus ID: 160215-000377, SPIN: 3785-1391, e-mail: desyatkinar@rambler.ru

ФИЛИППОВ Николай Васильевич, инженер-исследователь, https://orcid.org/0000-0003-0463-3123, ResearcherID: J-6803-2018, Scopus ID: 57202088215 SPIN: 6514-0955, e-mail: finiva88@mail.ru

Вклад авторов

Десяткин Р.В. – руководство исследованием, разработка концепции, администрирование проекта, верификация данных, редактирование рукописи; **Иванова А.З.** – проведение исследования, администрирование и верификация данных, создание черновика рукописи; **Оконешникова М.В.** – проведение исследования, редактирование рукописи; **Десяткин А.Р.** – проведение исследования, редактирование рукописи; **Филиппов Н.В.** – проведение исследования, редактирование рукописи

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

About the authors

DESYATKIN, Roman Vasilievich, Chief Researcher, Dr. Sci. (Biol.), https://orcid.org/0000-0002-1289-5433, ResearcherID: K-5281-2018, Scopus ID: 6507832825, SPIN: 7430-6386, e-mail: rvdes@ibpc.ysn.ru

IVANOVA, Alexandra Zuevna, Junior Researcher, https://orcid.org/0000-0002-8501-6807, ResearcherID: J-6741-2018, Scopus ID: 57216969934, SPIN: 5813-5880, e-mail: madalexia@mail.ru

OKONESHNIKOVA, Matrena Vasilievna, Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher, https://orcid.org/0000-0002-9841-2112, ResearcherID: J-4337-2018, Scopus ID: 54411075900, SPIN: 8496-8867, e-mail: mvok@yandex.ru

DESYATKIN, Alexey Romanovich, Senior Researcher, PhD, https://orcid.org./0000-0002-9597-999X, ResearcherID: G-1918-2016, Scopus ID: 160215-000377, SPIN: 3785-1391, e-mail: desyatkinar@rambler.ru

FILIPPOV, Nikolai Vasilievich, Research Engineer, https://orcid.org/0000-0003-0463-3123, ResearcherID: J-6803-2018, Scopus ID: 57202088215, SPIN: 6514-0955, e-mail: finiva88@mail.ru

Authors' contribution

Desyatkin R.V. – supervision, conceptualization, project administration, validation, writing – review & editing; **Ivanova A.Z.** – investigation, data curation, validation, writing – original draft; **Okoneshnikova M.V.** – investigation, writing – review&editing; **Desyatkin A.R.** – investigation, writing – review & editing; **Filippov N.V.** – investigation, writing – review & editing

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию / Submitted 03.03.2025
Поступила после рецензирования / Revised 15.08.2025
Принята к публикации / Accepted 20.08.2025