

Научная статья

УДК 631.425

<https://doi.org/10.18522/1026-2237-2026-2-1-69-74>

СОДЕРЖАНИЕ И ЗАПАСЫ ПОДВИЖНЫХ ФОРМ КАЛИЯ В ПОСТАГРОГЕННЫХ ПОЧВАХ ПРИМОРСКОГО КРАЯ

Максим Леонидович Бурдуковский

Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии Дальневосточного
отделения Российской академии наук, Владивосток, Россия

mburdukovskii@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1806-6721>

Аннотация. Темногумусовые подбелы Приморского края характеризуются преимущественно повышенным или высоким содержанием подвижных форм калия. Калийный режим постагрогенных почв региона до сих пор не изучен. Цель данной работы – изучить динамику содержания подвижных форм калия и их запасов в залежных и пахотных темногумусовых подбелах юга Приморского края. Исследование выполнено на залежах возрастом 15, 20, 35 и 80 лет; в качестве контроля использовались образцы с современной пашины. Установлено, что на ранней стадии постагрогенного развития в верхнем горизонте агро-темногумусовых подбелов происходит увеличение содержания подвижного калия. Через 20–35 лет после вывода почвы из сельскохозяйственного оборота отмечается выраженное снижение подвижного калия в гумусовом горизонте; существенно снижаются запасы по профилю в целом. К 80-му году наблюдается частичная стабилизация калийного режима, однако верхняя толща остаётся беднее пашины. Результаты имеют прикладное значение для оценки плодородного потенциала залежных земель и планирования их возможного вовлечения в сельскохозяйственный оборот.

Ключевые слова: почвы залежей, калий, темногумусовые подбелы, Приморский край

Для цитирования: Бурдуковский М.Л. Содержание и запасы подвижных форм калия в постагрогенных почвах Приморского края // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Естеств. науки. 2026. № 2-1. С. 69–74. <https://doi.org/10.18522/1026-2237-2026-2-1-69-74>

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 124012400285-7).

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0).

Original article

CONTENT AND STOCKS OF MOBILE POTASSIUM FORMS IN THE POSTAGROGENIC SOILS OF PRIMORSKY REGION

Maksim L. Burdukovskii

Federal Research Center for Biodiversity of Terrestrial Biota of East Asia of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia

mburdukovskii@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1806-6721>

Abstract. Dark-humus podbels of Primorsky region are characterized predominantly by elevated or high content of mobile potassium forms. The potassium regime of postagrogenic soils of the region has not been studied so far. The aim of this work is to study the dynamics of the content of mobile potassium forms and their stocks in abandoned and arable dark-humus podbels of the southern Primorsky region. The study was carried out on abandoned lands aged 15, 20, 35, and 80 years; as a control, samples from modern arable land were used. It was

© Бурдуковский М.Л., 2026

established that at the early stage of postagrogenic development in the upper horizon of agro-dark-humus podbels, there occurs an increase in the content of mobile potassium. After 20-35 years following the withdrawal of soil from agricultural use, a pronounced decrease of mobile potassium is observed in the humus horizon; the stocks significantly decrease throughout the profile as a whole. By the 80th year, a partial stabilization of the potassium regime is observed, however, the upper stratum remains poorer than arable land. The results have applied significance for the assessment of the fertility potential of abandoned lands and for planning their possible involvement in agricultural use.

Keywords: fallow soils, potassium, dark-humus podbels, Primorsky region

For citation: Burdukovskii M.L. Content and Stocks of Mobile Potassium Forms in the Postagrogenic Soils of Primorsky Region. *Bulletin of Higher Educational Institutions. North Caucasus Region. Natural Science.* 2026;(2-1):69-74. (In Russ.). <https://doi.org/10.18522/1026-2237-2026-2-1-69-74>

Acknowledgments: the work was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (topic No. 124012400285-7).

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0).

Введение

Калий, играя ключевую роль в регуляции водного режима, фотосинтеза и метаболических процессов, является одним из основных элементов минерального питания растений. Калийный режим почв во многом определяет продуктивность агроценозов, устойчивость растений к стрессам и качество урожая [1–5]. В почвах элемент содержится преимущественно в составе первичных и вторичных алюмосиликатов, а также глинистых минералов, таких как иллиты и монтмориллониты [6, 7].

В условиях сельскохозяйственного использования почвы подвергаются интенсивной агрогенной трансформации. При этом запасы подвижных форм элементов, доступных для питания растений, в том числе калия, сокращаются за счёт выноса с урожаем [2, 4]. После вывода почв из сельскохозяйственного оборота начинается процесс постепенного восстановления почвенных свойств. С точки зрения изучения динамики и запасов подвижных форм калия залежи представляют большой интерес, поскольку позволяют выявить закономерности миграции и аккумуляции элемента в почвенном профиле при естественном зарастании [4, 5, 8].

Естественные темногомусовые подбелы Приморского края обладают достаточно высоким уровнем плодородия и характеризуются преимущественно повышенным или высоким уровнем содержания подвижных форм калия [9]. В постагрогенных почвах юга Дальнего Востока калийный режим не исследован. Изучение содержания и запасов подвижных форм калия в залежах позволит оценить потенциал их плодородия, а также выявить особенности трансформации в условиях прекращения агроэксплуатации.

Цель исследования – изучить динамику содержания подвижных форм калия и их запасов в залежных и пахотных агротемногомусовых подбелах юга Приморского края.

Материалы и методы

Полевые исследования проводились в августе 2021 г. на территории Уссурийского городского округа Приморского края. В качестве модельных участков были выбраны почвы полей, находящихся в залежном состоянии в течение 15, 20, 35 и 80 лет. До перехода в залежь они использовались под овощные севообороты. В качестве контрольных показателей применялись данные по пахотным почвам, представленные нами в публикации [10]. Исследуемые почвы классифицируются как агротемногомусовые подбелы [11].

Темногомусовые подбелы региона формируются на озёрно-аллювиальных отложениях, под остепнённой разнотравно-злаковой растительностью. Почвы широко распространены в пределах Западно-Приморской равнины, а также на Среднеамурской равнине в нижнем течении р. Уссури. Для них характерен тяжёлый механический состав, высокий уровень гумусированности [12]

(табл. 1). Доля темногомусовых подбелов в структуре пахотного фонда Приморского края составляет 34,5 %.

Образцы почвы отбирались по генетическим горизонтам из почвенных разрезов и прикопок (по три на каждом поле). В усредненных образцах почвы подвижные формы калия определяли пламенно-фотометрическим методом, в качестве экстрагента использовался раствор 1М $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ (по Масловой).

Запасы подвижных форм K_2O_5 в почвенном горизонте, кг/га, вычислены по формуле $Q = m \times h \times dv$, где Q – запасы подвижных форм K_2O_5 для почвенного горизонта h ; m – содержание K_2O_5 , мг/кг; h – мощность горизонта, см; dv – плотность сложения почвенного горизонта, г/см³ (табл. 2).

Аналитические определения проводились в трёхкратной повторности. Оценка содержания подвижных форм калия в почве осуществлялась в соответствии со шкалой обеспеченности, предложенной В.И. Ознобихиным и Э.П. Синельниковым применительно к почвам Приморского края [13].

Статистическая обработка полученных данных выполнялась с использованием общепринятых методов математической статистики в программе Statistica v.13. Лабораторные исследования проводились в специализированной лаборатории с использованием технической базы центра коллективного пользования «Биотехнология и генетическая инженерия» (ФНЦ биоразнообразия ДВО РАН).

Таблица 1 / Table 1

Агро- и физико-химические характеристики агротемногомусовых подбелов / Agro- and physico-chemical characteristics of agro-dark-humus podbels

Показатель	Значение
Гумус, %	4,0 ± 0,2
Нобщ, %	0,18 ± 0,03
pH KCl	4,3 ± 0,3
K_2O_5 подвижный, мг/кг почвы	179,2 ± 20,0
P_2O_5 подвижный, мг/кг почвы	27,5 ± 2,1
Сумма обменных оснований, мг-экв/100 г почвы	14,7 ± 0,5
Плотность, г/см ³	1,1 ± 0,05
Физическая глина, %	54,2 ± 1,73
Физический ил, %	9,0 ± 0,23

Таблица 2 / Table 2

Содержание подвижных форм калия в агротемногомусовых подбелах / Content of mobile potassium forms in agro-dark-humus podbels

Возраст залежи, лет	Горизонт	Глубина, см	K_2O_5 , мг/кг
0 (пашня)	PU	0–27	152,21 ± 21,17
	ELnn	27–42	118,09 ± 12,45
	BTnn, g	42–91	177,45 ± 27,04
	G	91–132	104,42 ± 13,18
15	PU	0–15	180,75 ± 24,31
	PU–ELnn	15–25	149,58 ± 19,36
	ELnn	25–50	161,2 ± 21,72
	BTnn, g	50–90	157,35 ± 17,94
20	BTnn	0–15	137,15 ± 20,09
	PU–ELnn	15–25	109,13 ± 10,44
	ELnn	25–50	169,31 ± 19,94
	BTnn	50–90	174,63 ± 25,05
35	PU	0–15	109,25 ± 15,74
	PU–ELnn	15–25	84,14 ± 13,18
	ELnn	25–50	162,62 ± 22,42
	BTnn, g	50–90	127,46 ± 15,13
80	PU	4–11	123,17 ± 16,27
	PU–ELnn	11–35	122,62 ± 18,33
	ELnn	35–55	178,91 ± 24,56
	BTnn	55–111	140,55 ± 16,81

Результаты и обсуждение

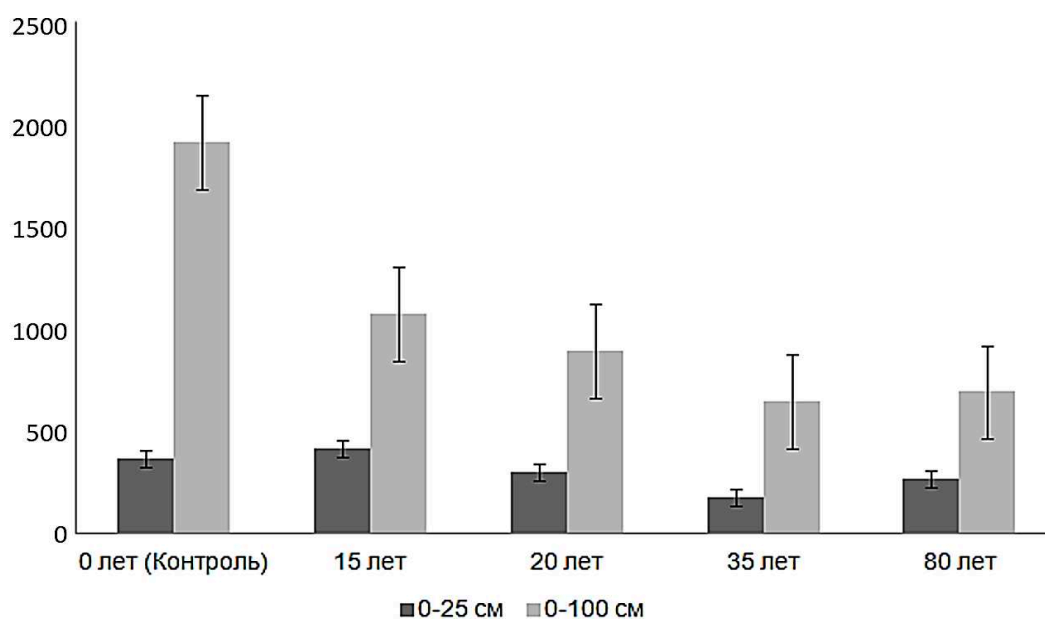
В почве, оставленной без использования 15 лет назад, наблюдалось возрастание содержания подвижных форм калия в бывшем пахотном и подпахотном горизонтах. Увеличение содержания могло быть следствием поступления калия при отмирании биомассы корней и надземной части растений, а также прекращения антропогенного выноса элемента с урожаями [5, 14].

Спустя 20 лет после прекращения антропогенного воздействия в гумусовом горизонте почвы уменьшилось количество подвижных форм калия, что может быть обусловлено процессами преобразования твердой фазы почвы после снятия антропогенной нагрузки [15] с одновременной миграцией части калия в глубокие горизонты из-за изменений гидрологического режима [5, 16].

Продолжение залежного периода сопровождалось снижением содержания подвижного калия в верхней толще почвы. Через 35 лет после прекращения возделывания агротемногумусовых подбелов содержание подвижных форм калия в верхнем горизонте было на 39 % ниже, чем на контроле, что перекликается с тенденциями, отмеченными в анализе разновозрастных залежей на территории Северо-Запада России, где с возрастом увеличиваются потери питательных элементов в гумусовом горизонте, включая K_2O_5 [16].

К 80-му году залежного режима калийное состояние исследуемых почв можно охарактеризовать как оптимальное (80–140 мг/кг K_2O [12]). Тем не менее содержание подвижных форм калия в верхней толще оставалось ниже, чем в варианте современной пашни, что, вероятно, отражает естественный процесс возвращения почвы к свойствам, присущим ненарушенным экосистемам региона [16, 17].

Динамика запасов подвижных форм калия в агротемногумусовых подбелах на залежах иллюстрирует ключевые этапы постагрогенного восстановления почв (рисунок). В условиях современной пашни запасы подвижных форм калия в толще 0–100 см оказались наивысшими среди всех изученных вариантов. Спустя 15 лет залежного периода в слое 0–25 см отмечалось локальное повышение содержания подвижного калия, обусловленное прекращением антропогенного выноса элемента с урожаем, а также его возвратом через опад и корневые остатки; однако общий запас по профилю в этот период демонстрировал тенденцию к снижению. На этапах 20–35 лет залежного восстановления уменьшение содержания подвижных форм калия в гумусовом горизонте отразилось на общих запасах элемента в почвенной толще, что связано с миграцией калия в нижележащие горизонты и изменением кислотности почвы [5, 16]. Наименьшими запасами характеризуются 35-летние залежные участки: $175,7 \pm 24,5$ кг K_2O_5 /га – в слое 0–25 см, $641,4 \pm 118,3$ кг K_2O_5 /га – в толще 0–100 см. К 80-летнему возрасту залежей наблюдается частичная стабилизация калийного режима, хотя содержание подвижных форм калия в верхней толще почвы остается ниже уровня, свойственного для пашни, отражая переход к естественному зональному состоянию экосистемы.



Запасы подвижных форм калия в агротемногумусовых подбелах, кг K_2O_5 /га
/ Stocks of mobile potassium forms in agro-dark-humus podbels, kg K_2O_5 /ha

Закключение

Перевод агроугодий в состояние залежи сопровождается многоэтапной трансформацией калийного режима агротемногумусовых подбелов. На ранних стадиях (≈ 15 лет) в верхней толще исследуемой почвы наблюдалось локальное повышение подвижного калия вследствие прекращения выноса с урожаем и возвращения элемента через опад и корневые остатки; однако общий

запас в профиле 0–100 см при этом снизился относительно контроля. Через 20–35 лет произошло значительное уменьшение содержания подвижных форм калия в гумусовом горизонте, что можно связать с миграцией элемента вглубь профиля и частичной фиксацией в твёрдой фазе почвы. В 35-летних залежах запасы в толще 0–100 см оказались существенно ниже уровня контрольного варианта. На длительной временной шкале (≈ 80 лет) калийный режим демонстрирует тенденцию к стабилизации – частичное восстановление запасов отмечалось главным образом в более глубоких горизонтах, тогда как верхняя толща оставалась сравнительно обеднённой по содержанию подвижных форм калия в сравнении с современной пашней. Полученные результаты подчеркивают необходимость учёта фаз изменений калийного режима почв при оценке плодородия и принятии решений по вовлечению залежных земель в сельскохозяйственный оборот.

Список источников

1. Минеев В.Г. Агрохимия и экологические функции калия. М.: МГУ, 1999. 332 с.
2. Назарюк В.М., Калимуллина Ф.Р. Калийное состояние почвы и продуктивность культур при внесении минеральных удобрений и растительных остатков // Агрохимия. 2023. № 11. С. 3–10. EDN: PQVHGS. <https://doi.org/10.31857/S0002188123110108>
3. Шафран С.А. Значение обеспеченности почв подвижным калием в повышении урожайности и эффективности азотных удобрений // Агрохимия. 2024. № 3. С. 3–13. EDN: DOBHLW. <https://doi.org/10.31857/S0002188124030017>
4. Correndo A.A., Rubio G., Garcia F.O., Ciampitti I.A. Subsoil-potassium depletion accounts for the nutrient budget in high-potassium agricultural soils // Sci. Rep. 2021. Vol. 11. Art. 11597. EDN: OYNLSF. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-90297-1>
5. Enchilik P.R., Chechenkov P.D., Yu. G.-H., Semenov I.N. Partitioning of Available P and K in Soils During Post-Agricultural Pine and Spruce Reforestation in Smolensk Lakeland National Park. Russia // Forests. 2025. Vol. 16. № 5. Art. 845. EDN: YNPHFY. <https://doi.org/10.3390/f16050845>
6. Manning D.A.C. Mineral sources of potassium for plant nutrition. A review // Agron. Sustain. Dev. 2010. Vol. 30. P. 281–294. EDN: POPACM. <https://doi.org/10.1051/agro/2009023>
7. Никитина Л.В. Исследование калийного режима разных типов почв в длительных опытах Геосети // Агрохимия. 2018. № 1. С. 39–51. EDN: YLCIWT. <https://doi.org/10.7868/S0002188118010040>
8. Wakeel A., Ishfaq M. Potash Use and Dynamics in Agriculture. Singapore: Springer, 2021. 124 p. <https://doi.org/10.1007/978-981-16-6883-8>
9. Иванов Г.И. Почвообразование на юге Дальнего Востока. М.: Наука, 1976. 200 с.
10. Бурдуковский М.Л. Содержание и запасы подвижных форм фосфора в постагрогенных почвах Приморского края // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Естеств. науки. 2024. № 2. С. 66–71. EDN: СВХКИН. <https://doi.org/10.18522/1026-2237-2024-2-66-71>
11. Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с. EDN: PTEEQE.
12. Синельников Э.П., Слабко Ю.И. Агрогенезис почв Приморья. М.: ВНИИА, 2005. 280 с. EDN: QKWRYP.
13. Ознобихин В.И., Синельников Э.П. Характеристика основных свойств почв Приморского края и пути их рационального использования. Уссурийск: Изд-во Приморского СХИ, 1985. 72 с.
14. Литвинович А.В., Павлова О.Ю., Лаврищев А.В., Буре В.М. Изучение показателей почвенного плодородия окультуренной дерново-подзолистой песчаной почвы на разных стадиях формирования природных экосистем // Агрохимия. 2022. № 6. С. 14–27. EDN: OGWFZW. <https://doi.org/10.31857/S0002188122060084>
15. Савич В.И., Платонов И.Г., Духанин Ю.А., Поветкина Н.Л., Сафонов А.Ф. Комплексная оценка состояния калия в почве // Известия ТСХА. 2006. № 3. С. 15–28. EDN: HVJGLF.
16. Polyakov V., Nizamutdinov T., Popov I., Artyukhov E., Abakumov E. Postagrogenic Dynamics of Different-Aged Soils of Northwest Russia // Agronomy. 2025. Vol. 15, № 5. Art. 1141. EDN: AFWQVT. <https://doi.org/10.3390/agronomy15051141>
17. Литвинович А.В., Павлова О.Ю., Маслова А.И., Чернов Д.В. Калийное состояние дерново-подзолистой глееватой песчаной почвы при окультуривании и под залежью // Почвоведение. 2006. № 7. С. 876–882. EDN: HUBLQT.

References

1. Mineev V.G. *Agrochemistry and ecological functions of potassium*. Moscow: MSU Publishing House, 1999. 332 p. (In Russ.).

2. Nazariuk V.M., Kalimullina F.R. Potash state of the soil and crop productivity when applying mineral fertilizers and plant residues. *Agrochemistry*. 2023;(11):3-10. (In Russ.). EDN: PQVHGS. <https://doi.org/10.31857/S0002188123110108>
3. Shafran S.A. Importance of providing soils with mobile potassium in increasing the yield and efficiency of nitrogen fertilizers. *Agrochemistry*. 2024;(3):3-13. (In Russ.). EDN: DOBHLW. <https://doi.org/10.31857/S0002188124030017>
4. Correndo A.A. Rubio G., Garcia F.O., Ciampitti I.A. Subsoil-potassium depletion accounts for the nutrient budget in high-potassium agricultural soils. *Sci. Rep.* 2021;11:11597. EDN: OYNLSF. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-90297-1>
5. Enchilik P.R., Chechenkov P.D., Yu. G.-H., Semenov I.N. Partitioning of available P and K in soils during post-agricultural pine and spruce reforestation in Smolensk Lakeland National Park, Russia. *Forests*. 2025;16(5):845. EDN: YNPHFY. <https://doi.org/10.3390/f16050845>
6. Manning D.A.C. Mineral sources of potassium for plant nutrition. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 2010;30:281-294. EDN: POPACM. <https://doi.org/10.1051/agro/2009023>
7. Nikitina L.V. Research of the potassium status of different soil types in long-term experiments of geographical network of field trials with fertilizers. *Agrochemistry*. 2018;(1):39-51. (In Russ.). EDN: YLCIWT. <https://doi.org/10.7868/S0002188118010040>
8. Wakeel A., Ishfaq M. *Potash use and dynamics in agriculture*. Singapore: Springer; 2021. 124 p. <https://doi.org/10.1007/978-981-16-6883-8>
9. Ivanov G.I. *Soil formation in the south of the Far East*. Moscow: Science; 1976. 200 p. (In Russ.).
10. Burdukovskii M.L. Content and stocks of mobile phosphorus forms in the postagrogenic soils of Primorsky region. *Bulletin of Higher Educational Institutions. North Caucasus Region. Natural Science*. 2024;(2):66-71. (In Russ.). EDN: CBXKIH. <https://doi.org/10.18522/1026-2237-2024-2-66-71>
11. Shishov L.L., Tonkonogonov V.D., Lebedeva I.I., Gerasimova M.I. *Classification and diagnosis of soils of Russia*. Smolensk: Ecumene; 2004. 342 p. (In Russ.). EDN: PTEEQE.
12. Sinelnikov E.P., Slabko Yu.I. *Agrogenesis of the soils of Primorye*. Moscow: Pryanishnikov All-Russian Research Institute of Agrochemistry; 2005. 280 p. (In Russ.). EDN: QKWRYP.
13. Oznobikhin V.I., Sinelnikov E.P. *Characterization of the main properties of the soils of the Primorsky Territory and the way of their rational use*. Ussuriysk: Maritime State Agricultural Academy Press; 1985. 72 p. (In Russ.).
14. Litvinovich A.V., Fomina A.S., Pavlova O.Y., Lavrishchev A.V. Study of indicators of soil fertility of cultivated sod-podzolic sandy soil at different stages of formation of natural ecosystems. *Agrochemistry*. 2022;(6):14-27. (In Russ.). EDN: OGWFZW. <https://doi.org/10.31857/S0002188122060084>
15. Savich V.I., Platonov I.G., Dukhanin Yu.A., Povetkina N.L., Safonov A.F. Complex evaluation of potassium state in soil. *Proceedings of Timiryazev Agricultural Academy*. 2006;(3):15-28. (In Russ.). EDN: HVJGLF.
16. Polyakov V., Nizamutdinov T., Popov I., Artyukhov E., Abakumov E. Postagrogenic dynamics of different-aged soils of Northwest Russia. *Agronomy*. 2025;15(5):1141. EDN: AFWQVT. <https://doi.org/10.3390/agronomy15051141>
17. Litvinovich A.V., Pavlova O.Yu., Maslova A.I., Chernov D.V. The potassium status of sandy gleyic soddy-podzolic soils under forest, cropland, and fallow. *Eurasian Soil Sc.* 2006;39(7):785-791. EDN: LJYRRV. <https://doi.org/10.1134/S1064229306070131>

Информация об авторе

М.Л. Бурдуковский – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории почвоведения и экологии почв, ФНЦ биоразнообразия ДВО РАН.

Information about the author

M.L. Burdukovskii – Candidate of Science (Biology), Senior Researcher of the Laboratory of Soil Science and Soil Ecology, FRCB FEB RAS.

Статья поступила в редакцию 26.09.2025; одобрена после рецензирования 20.12.2025; принята к публикации 07.05.2026.
The article was submitted 26.09.2025; approved after reviewing 20.12.2025; accepted for publication 07.05.2026.