

Исследования
антропогенно-измененных
экосистем и урбоэкология

Оригинальное исследование

DOI: 10.31862/2500-2961-2025-15-3-302-314

УДК 581.524.2:(631.81.1+.811.2+811.3)

А.В. Чернышев, В.М. Зубкова

Российский государственный социальный университет,
129226 г. Москва, Российская Федерация

**Расчет выноса элементов питания
растений (азот, фосфор, калий)
инвазионным *Solidago gigantea* Ait.
в условиях г. Москвы**

В статье приведены результаты исследований инвазионного *Solidago gigantea* Ait. в качестве фиторемедиатора элементов минерально-го питания растений (азота, фосфора и калия) в условиях парковых зон города Москвы. Установлено, что вынос отчуждения золотарника гигантского варьировал от 480,50 до 1253,55 г/м², содержание исследуемых элементов в его вегетативной и генеративной частях изменялось от 0,22–0,27% для азота и фосфора и 2,82 г/кг для калия в бутонах до 0,87–0,63% для азота и фосфора и 8,29 г/кг для калия в корнях. Рас-считаны выносы этих элементов и ежегодное снижение их содержания в почвах исследуемых участков, при условии отчуждения надземной массы золотарника гигантского.

Ключевые слова: *Solidago gigantea*, азот, фосфор, калий, вынос элементов питания, NPK

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Чернышев А.В., Зубкова В.М. Расчет выноса элементов питания растений (азот, фосфор, калий) инвазионным *Solidago gigantea* Ait. в условиях г. Москвы // Социально-экологические технологии. 2025. Т. 15. № 3. С. 302–314. DOI: 10.31862/2500-2961-2025-15-3-302-314

Original research

DOI: 10.31862/2500-2961-2025-15-3-302-314

A.V. Chernyshev, V.M. Zubkova

Russian State Social University,
Moscow, 129226, Russian Federation

Calculation of the removal of plant nutrition elements (Nitrogen, Phosphorus, Potassium) by invasive *Solidago gigantea* Ait. in Moscow

The article presents the results of studies of the invasive *Solidago gigantea* Ait. (giant goldenrod) as a phytoremediator of plant mineral nutrition elements (Nitrogen, Phosphorus and Potassium) in park areas of the city of Moscow. The removal of giant goldenrod ranged from 480.50 to 1253.55 g/m², the content of the studied elements in its vegetative and generative parts varied from 0.22–0.27% for Nitrogen and Phosphorus and 2.82 g/kg for Potassium in the buds to 0.87–0.63% for Nitrogen and Phosphorus and 8.29 g/kg for Potassium in the roots. The removal of these elements and the annual decrease in their content in the soils of the studied areas were calculated, subject to the alienation of the aboveground mass of giant goldenrod.

Key words: *Solidago gigantea*, Nitrogen, Phosphorus, Potassium, removal of nutrition elements, NPK

FOR CITATION: Chernyshev A.V., Zubkova V.M. Calculation of the removal of plant nutrition elements (Nitrogen, Phosphorus, Potassium) by invasive *Solidago gigantea* Ait. in Moscow. *Environment and Human: Ecological Studies*. 2025. Vol. 15. No. 3. Pp. 302–314. DOI: 10.31862/2500-2961-2025-15-3-302-314

Введение

Минеральное питание растений как один из факторов, способствующих активизации важнейших физиологических процессов – фотосинтеза, дыхания, обмена веществ в целом, – играет существенную роль в повышении устойчивости растений, в том числе инвазионных, к неблагоприятным факторам окружающей среды [Чернышев, 2022].

Вместе с тем, в литературе практически отсутствуют данные о содержании в инвазионных растениях основных элементов питания (азота, фосфора, калия и др.), которые могут отчуждаться из почвы в больших количествах, что приводит к отрицательным, с точки зрения химического взаимодействия, последствиям для растительных сообществ [Минеральный состав..., 2018; Роева, 2018].

Известно, что инвазионные растения способствуют снижению обилия и численности аборигенных видов, изменяют гидрологический режим и почвенные условия, приводят к снижению естественного биологического разнообразия, активно гибридизируя с другими растениями [McGeoch, Butchart, Spear et al., 2010; Haubrock, Turbelin, Cuthbert et al., 2020]. С целью предупреждения их распространения, контроля их численности и изучения их взаимодействия с биотой во вторичном ареале необходимо всестороннее изучение адвентивной флоры [Майоров, Виноградова, 2024].

Объектом нашего исследования стал североамериканский вид *Solidago gigantea* Ait. (золотарник гигантский), встречающийся на территории Москвы, общая характеристика которого дана нами ранее [Чернышев, 2022; Чернышев, Зубкова, Гапоненко, 2023].

Цель исследования заключалась в проведении анализа содержания основных элементов питания: азота, фосфора и калия в различных органах золотарника гигантского и размеры их отчуждения из почвы в антропогенно-измененных условиях Москвы.

Задачами исследования стали определение продуктивности золотарника гигантского в условиях Москвы, определение содержания биогенных элементов в органах *S. gigantea*, расчет выноса этих элементов организмами данного растения.

Материалы и методы

Для исследования были определены 4 опытных участка на территории Москвы, на которых отбирали растения *S. gigantea* (рис. 1). Выбор участков осуществлен на основании обобщения материалов гербария Главного Ботанического сада им. М.В. Цицина РАН и Гербария Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова¹.

¹ Депозитарий живых систем «Ноев Ковчег». URL: <https://plant.depo.msu.ru/> (дата обращения: 15.02.2025).



Рис. 1. Опытные участки на схеме Москвы:

- 1 – Леоновская роща (55.843350, 37.627943); 2 – Яузский лесопарк (55.825813, 37.691496); 3 – природно-исторический парк Кузминки-Люблино (55.690105, 37.802175); 4 – Бирюлевский лесопарк (55.596028, 37.715637)

Fig. 1. Experimental plots on the map of Moscow:

- 1 – Leonovskaya Grove (55.843350, 37.627943); 2 – Yauzsky Forest Park (55.825813, 37.691496); 3 – Kuzminki-Lyublino Natural and Historical Park (55.690105, 37.802175); 4 – Biryulevsky Forest Park (55.596028, 37.715637)

Растения отбирали в первой декаде сентября 2022 г. в трехкратной повторности (по 7 растений с каждого участка), разделяли по органам (соцветия, листья, стебли и корни), высушивали до воздушно-сухого состояния и подготавливали для дальнейших лабораторных анализов.

Лабораторные анализы растительных образцов выполнены в ООО ЦСЭМ «Московский», в соответствии с общепринятыми методиками: после мокрого озоления с серной кислотой в присутствии перекиси водорода азот и фосфор определяли по ГОСТ 13496.4–2019² и ГОСТ 26657–97³ титриметрическим методом, калий – по ГОСТ 32250–2013⁴ методом пламенно-эмиссионной спектрометрии на фотоэлектрическом фотометре КФК-3-«ЗОМЗ» (страна-производитель Россия, ОАО «Загорский оптико-механический завод», заводской номер 1670707) и пламенном фотометре «PFP7» (страна-производитель Великобритания, «Bibby Scientific Ltd.», заводской номер 12194).

Результаты

Содержание таких элементов, как азот, фосфор, калий и особенно распределение их по органам *Solidago gigantean*, ранее не изучалось. Данные по накоплению азота, фосфора и калия органами золотарника представлены в табл. 1.

Нами определено, что изучаемые элементы на всех участках накапливаются в корнях растений. Содержание азота и калия было минимальным в бутонах, при этом меньшее содержание азота выявлено в Яузском лесопарке, калия – в Кузьминках-Люблино, равно как и фосфора, минимальное содержание которого обнаружено в стеблях.

² ГОСТ 13496.4–2019 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания азота и сырого протеина = Fodder, mixed fodder and raw mixed fodder. Methods of nitrogen and crude protein determination: межгосударственный стандарт: издание официальное. Введен в действие Приказом Росстандарта от 08.08.2019 № 488-ст. М., 2019.

³ ГОСТ 26657–97 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Метод определения содержания фосфора = Fodders, mixed fodders, mixed fodder raw materials. Methods for determination of phosphorus content: межгосударственный стандарт: издание официальное. Утвержден и введен в действие Межгосударственным Советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол № 12 от 21 ноября 1997 года). Мин., 2002.

⁴ ГОСТ 32250–2013 Корма, комбикорма. Метод определения содержания калия и натрия с применением пламенно-эмиссионной спектрометрии = Feeds, mixed feeds. Method for determination of potassium and sodium using flame-emission spectrometry: межгосударственный стандарт: издание официальное. Утвержден и введен в действие Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 14.12.2013 г. № 44). М., 2014.

Таблица 1

**Содержание азота, фосфора и калия в органах *Solidago gigantea*
[N, P and K content in the organs of *Solidago gigantea*]**

Орган [Organs]	Элемент [Element]	Участки [Plots]				$X_{\text{median}} \pm SD_x$
		Леоновская роща [Leonovskaya Grove]	Яузский лесопарк [Yauzsky Forest Park]	Парк Кузьминки- Люблино [Kuzminki- Lyublino Park]	Бирюлевский лесопарк [Biryulevsky Forest Park]	
Соцветия [Inflorescences]	N, %	0,25 ± 0,06	0,22 ± 0,06	0,42 ± 0,07	0,34 ± 0,06	0,31 ± 0,08
	P, %	0,35 ± 0,06	0,33 ± 0,06	0,27 ± 0,05	0,27 ± 0,05	0,31 ± 0,03
	K, g/kg	3,29 ± 1,09	3,75 ± 1,26	2,82 ± 1,01	3,53 ± 1,12	3,35 ± 0,34
Листья [Leaves]	N, %	0,53 ± 0,07	0,49 ± 0,07	0,53 ± 0,07	0,45 ± 0,06	0,50 ± 0,03
	P, %	0,42 ± 0,08	0,30 ± 0,06	0,24 ± 0,05	0,33 ± 0,06	0,32 ± 0,06
	K, g/kg	4,76 ± 1,32	3,65 ± 1,14	3,24 ± 1,08	3,35 ± 1,09	3,75 ± 0,56
Стебли [Stems]	N, %	0,56 ± 0,07	0,60 ± 0,06	0,56 ± 0,07	0,56 ± 0,07	0,57 ± 0,02
	P, %	0,39 ± 0,07	0,41 ± 0,07	0,30 ± 0,06	0,35 ± 0,06	0,36 ± 0,04
	K, g/kg	6,12 ± 1,54	5,00 ± 1,36	4,94 ± 1,19	5,00 ± 1,36	5,26 ± 0,49
Корни [Roots]	N, %	0,72 ± 0,06	0,64 ± 0,07	0,87 ± 0,08	0,70 ± 0,07	0,73 ± 0,08
	P, %	0,58 ± 0,10	0,59 ± 0,10	0,63 ± 0,11	0,60 ± 0,11	0,60 ± 0,02
	K, g/kg	7,94 ± 1,83	7,18 ± 1,71	6,47 ± 1,60	8,29 ± 1,89	7,47 ± 0,62

В среднем по участкам азота в корнях содержится больше, чем в соцветиях, в 2,48 раза, в листьях – в 1,47 раза и в стеблях – в 1,29 раза; фосфора в соцветиях – в 2 раза, в листьях – в 1,95 раза и в стеблях – в 1,67 раза; калия в соцветиях – в 2,24 раза, в листьях – в 2,03 раза и в стеблях – в 1,43 раза. Для всех элементов распределение по органам имело вид: корни > стебли > листья > бутоны.

Превышение содержания надземной массы к соцветиям по азоту, фосфору и калию составило для листьев 1,63, 1,06 и 1,12; для стеблей – 1,85, 1,19 и 1,57; для корней – 2,38, 1,97 и 2,23 соответственно (рис. 2).

Для учета выносов элементов минерального питания нами была оценена продуктивность золотарника гигантского (табл. 2).

Таблица 2

**Продуктивность растений *Solidago gigantea*, г/м²
[Productivity of *Solidago gigantea* plants, g/m²]**

Участок [Plot]	Соцветия [Inflorescences]	Листья [Leaves]	Стебли [Stems]	Корни [Roots]
Леоновская роща [Leonovskaya Grove]	199,47	300,08	753,99	164,84
Яузский лесопарк [Yauzsky Forest Park]	76,88	160,66	486,66	92,26
Парк Кузьминки-Люблино [Kuzminki-Lyublino Park]	46,44	116,85	353,73	118,06
Бирюлевский Лесопарк [Biryulevsky Forest Park]	109,91	225,19	657,08	186,23
<i>c_v</i>	0,63	0,41	0,33	0,36

В период активного цветения *Solidago gigantea* накапливал, в зависимости от участка, от 635,08 до 1428,38 г/м² сухой массы. Рассчитано, что в Леоновской роще в среднем сухая масса растений превышает среднюю сухую массу в Яузском лесопарке в 1,74 раза, в Кузьминках-Люблино – в 2,23 раза и в Бирюлевском лесопарке – в 1,20 раз. Наименьшую сухую массу золотарник гигантский аккумулирует в соцветиях: в среднем, отношение листьев к соцветиям составило 1,86, стеблям – 5,20, корням – 1,30. Выносы отчуждения для исследуемых участков составили 1253,54 для Леоновской рощи, 724,2 – для Яузского лесопарка, 517,02 – для парка Кузьминки-Люблино и 992,18 – для Бирюлевского лесопарка.

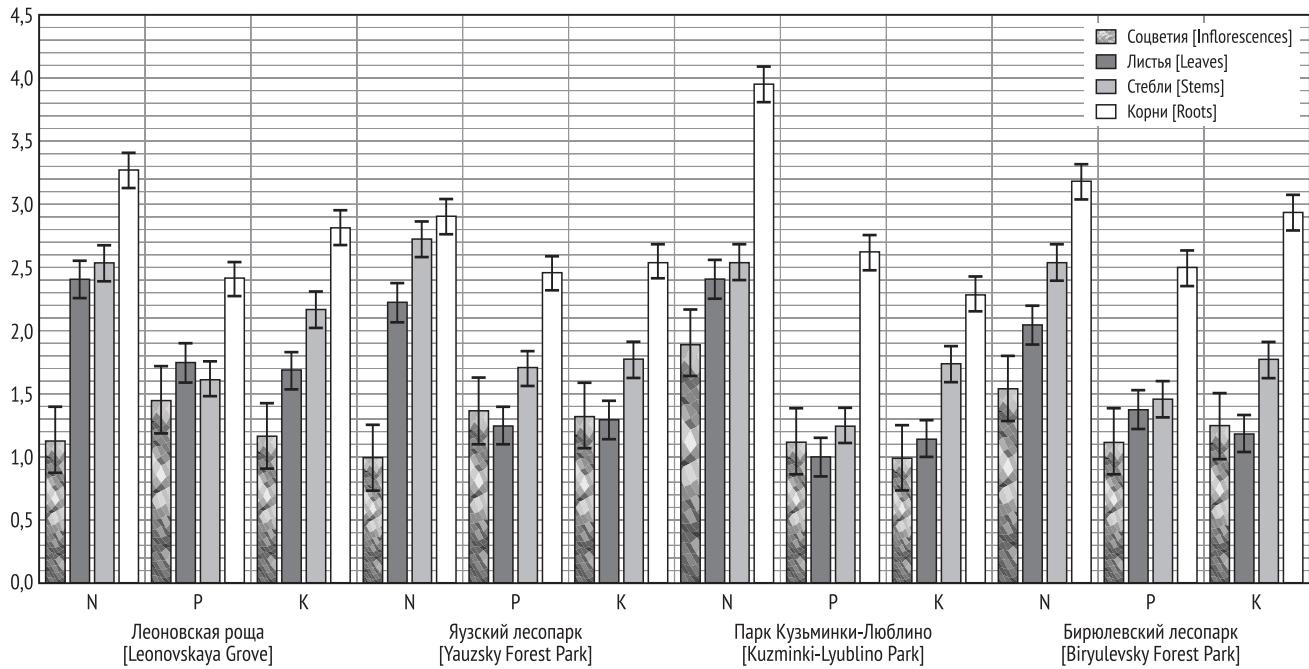
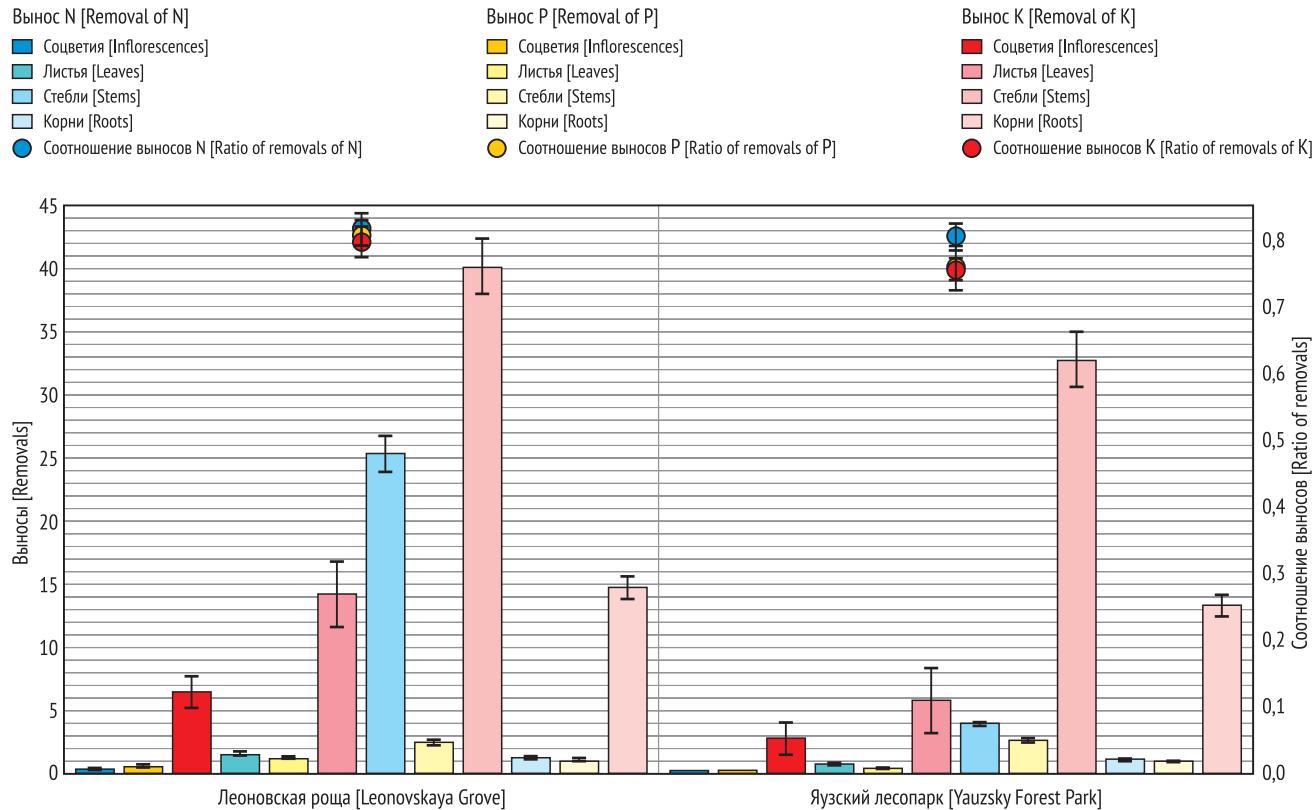


Рис. 2. Превышение минимального значения азота, фосфора и калия в органах *Solidago gigantea*

Fig. 2. Exceeding the minimum value of nitrogen, phosphorus and potassium in the organs of *Solidago gigantea*



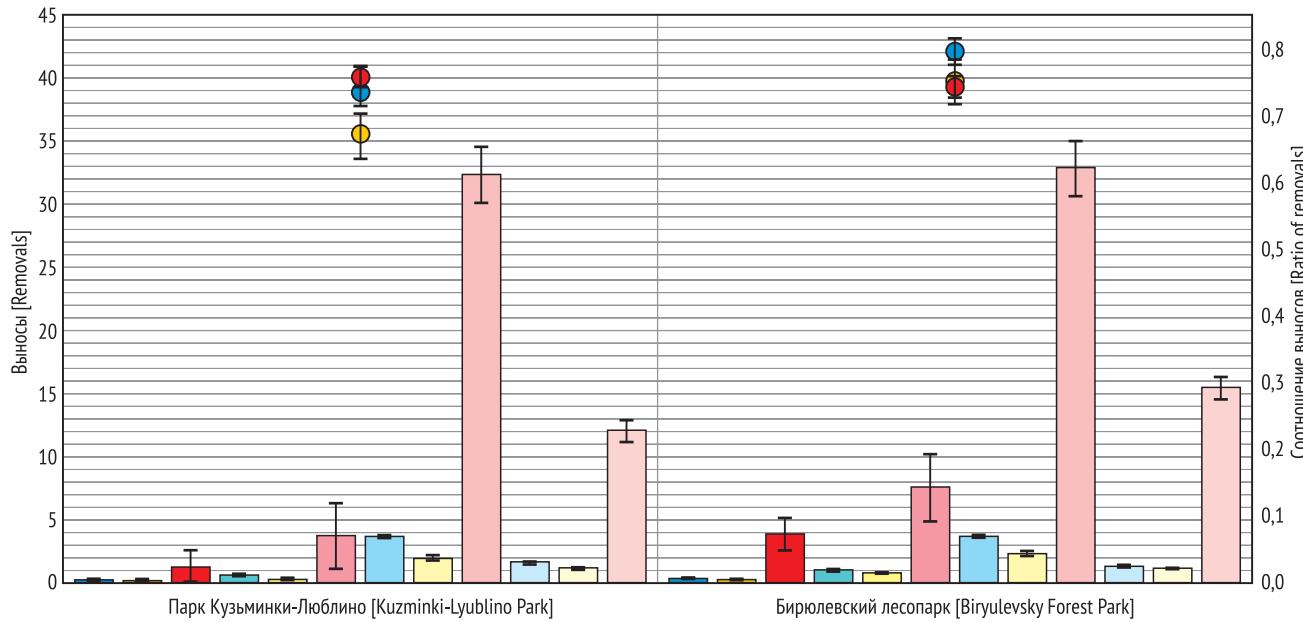


Рис. 3. Выносы и соотношение выносов азота, фосфора и калия органами *Solidago gigantea* (г/га)

Fig. 3. Removal and ratio of removal of N, P and K by organs of *Solidago gigantea* (g/ha)

Нами установлено, что основная концентрация азота, фосфора и калия наблюдается в стеблях: в среднем, содержание азота выше в 1,18 раза, фосфора – в 1,12 раза и калия – в 1,30 раза. Также установлено, что органами золотарника в основном выносится калий. Выносы калия превышают выносы натрия и фосфора в соцветиях в 6,71–17,05 и 9,40–13,07 раз, в листьях – в 6,11–8,98 и 10,15–13,50 раз, в стеблях – в 8,33–10,93 и 12,20–15,69 раз, в корнях – в 7,44–11,84 и 10,27–13,82 раза соответственно. В среднем отношение выносов азота фосфора и калия всеми органами растения к выносам этих элементов вегетативной частью составило 0,77, при этом в Леоновской роще частное принимает наибольшее значение, а в парке Кузьмики–Люблино – наименьшее.

Наблюдается акропетальное распределение элементов по органам.

Обсуждение и выводы

Изучение содержания элементов питания растений различными органами инвазионным *Solidago gigantea* рассчитано впервые. Содержание и вынос азота, фосфора и калия изучается больше для пищевых и кормовых культур, нежели для сорных растений. Также изучается реакция таких растений на привнесение элементов питания в почву.

По сравнению с сорнями *Chenopodium album* L., *Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv. изучаемый вид *Solidago gigantea* накапливает меньше азота (в 0,31; 0,32 раза), фосфора (в 0,54; 0,51 раза) и калия (в 0,32; 0,16 раза) соответственно в условиях города; и азота (в 0,20; 0,36 раза) фосфора (в 0,13; 0,17 раза) и калия (в 0,78; 0,79 раза) соответственно в условиях лесостепи [Пестерева, Сорока, 2013; Брухаль, Красюк, 2018].

Полученные данные позволяют рассчитать ежегодное снижение содержания калия надземными органами *S. gigantea*. Так, в условиях Леоновской рощи содержание калия ежегодно будет убывать на 0,0049 г/кг, в условиях Яузского лесопарка – на 0,0057 г/кг, в условиях парка Кузьминки–Люблино – на 0,0072 г/кг и в условиях Бирюлевского лесопарка – на 0,0045 г/кг.

Снижение содержания азота и фосфора в исследуемых почвах незначительно (от 0,00046 до 0,00087 и от 0,00034 до 0,00047 соответственно), в связи с чем оценивать способность по выносу этих элементов золотарником гигантским нецелесообразно.

Библиографический список / References

Брухаль Ф., Красюк Л. Биогенный вынос питательных веществ соевого агроценоза в условиях лесостепи Украины // Stiinta Agricola. 2018. № 2. С. 37–42. [Brukhal F., Krasyuk L. Biogenic removal of nutrients from soybean agrocenosis

in the forest-steppe conditions of Ukraine. *Stiinta Agricola*. 2018. No. 2. Pp. 37–42. (In Rus.)]

Майоров С.Р., Виноградова Ю.К. Введение в инвазионную биологию растений. М., 2024. [Mayorov S.R., Vinogradova Yu.K. Vvedenie v invazionnuyu biologiyu rasteniy [Introduction to plant invasive biology]. Moscow, 2024.]

Минеральный состав растений *Salvia verticillata* L. и *Salvia patens* Cav / О.А. Кораблева, Д.Б. Рахметов, Н.Е. Фролова и др. // *Plant Varieties Studying and Protection*. 2018. Т. 14. № 4. С. 382–389. [Korableva O.A., Rakhametov D.B., Frolova N.E. et al. Mineral composition of *Salvia verticillata* L. and *Salvia patens* Cav plants. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2018. Vol. 14. No. 4. Pp. 382–389. (In Rus.)]

Пестерева А.С., Сорока С.В. Вынос основных элементов питания яровой тритикале и сорными растениями в органогенезе // *Почвоведение и агрохимия*. 2013. № 1 (50). С. 217–225. [Pestereva A.S., Soroka S.V. Removal of the main nutritional elements of spring triticale and weeds in the organic. *Pochvovedenie i agrokhimiya*. 2013. No. 1 (50). Pp. 217–225. (In Rus.)]

Роева Т.А. Минеральное питание как фактор продуктивности и качества плодов вишни, черешни // *Современное садоводство*. 2018. № 2 (26). С. 48–69. [Roeva T.A. Mineral nutrition as a factor in the productivity and quality of cherry and sweet cherry fruits. *Sovremennoe sadovodstvo*. 2018. No. 2 (26). Pp. 48–69. (In Rus.)]

Чернышев А.В., Зубкова В.М., Гапоненко А.В. Влияние агрохимических показателей почвы и содержания в ней тяжелых металлов на накопление сухой массы *Solidago gigantea* Ait // Естественные и технические науки. 2023. № 7 (182). С. 55–62. [Chernyshev A.V., Zubkova V.M., Gaponenko A.V. The influence of agrochemical parameters of soil and the content of heavy metals in it on the accumulation of dry matter of *Solidago gigantea* Ait. *Estestvennye i tekhnicheskie nauki*. 2023. No. 7 (182). Pp. 55–62. (In Rus.)]

Чернышев А.В. Получение и перспективы использования эфирных масел растений рода *Solidago*, произрастающих на территории Москвы и Московской области // Тенденции развития науки и образования. 2022. № 85-2. С. 72–76. [Chernyshev A.V. Obtaining and prospects for using essential oils of plants of the genus *Solidago* growing in Moscow and the Moscow region. *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya*. 2022. No. 85-2. Pp. 72–76. (In Rus.)]

Чужеродная флора Московского региона: состав, происхождение и пути формирования / С.Р. Майоров, Ю.Е. Алексеев, В.Д. Бочкин и др. М., 2020. [Mayorov S.R., Alekseev Yu.E., Bochkin V.D. et al. Chuzherodnaya flora Moskovskogo regiona: sostav, proiskhozhdenie i puti formirovaniya [Alien flora of the Moscow region: Composition, origin and ways of formation]. Moscow, 2020.].

Шеуджен А.Х., Бондарева Т.Н., Кизинек С.В. Агрохимические основы применения удобрений. Майкоп, 2013. [Sheudzhen A.Kh., Bondareva T.N., Kizinék S.V. Agrokhimicheskie osnovy primeneniya udobreniy [Agrochemical principles of fertilizer application]. Maykop, 2013.]

Haubrock P.J., Turbelin A.J., Cuthbert R.N. et al. Economic costs of invasive alien species across Europe. *NeoBiota*. 2020. Vol. 67. Pp. 153–190.

McGeoch M.A., Butchart S.H., Spear D. et al. Global indicators of biological invasion: Species numbers, biodiversity impact and policy responses. *Diversity and Distributions*. 2010. Vol. 16. Pp. 95–108.

Статья поступила в редакцию 14.03.2025, принята к публикации 11.05.2025
The article was received on 14.03.2025, accepted for publication 11.05.2025

Сведения об авторах / About the authors

Чернышев Александр Валерьевич – аспирант кафедры экологии и природоохранной деятельности факультета комплексной безопасности и основ военной подготовки, Российской государственный социальный университет, г. Москва

Alexander V. Chernyshev – postgraduate student at the Department of Ecology and Environmental Protection of the Faculty of Comprehensive Security and Fundamentals of Military Training, Russian State Social University, Moscow

E-mail: sanchoys.28.03.98@yandex.ru

Зубкова Валентина Михайловна – доктор биологических наук, профессор; профессор кафедры экологии и природоохранной деятельности факультета комплексной безопасности и основ военной подготовки, Российской государственный социальный университет, г. Москва

Valentina M. Zubkova – Dr. Biol. Hab.; Professor at the Department of Ecology and Environmental Protection of the Faculty of Comprehensive Security and Fundamentals of Military Training, Russian State Social University, Moscow

E-mail: vmzubkova@yandex.ru.

Заявленный вклад авторов

А.В. Чернышев – постановка задач исследования, сбор и обработка материалов исследования, описание исследования и формулирование выводов

В.М. Зубкова – постановка цели исследования, корректировка текста введения, формулирование актуальности и выводов исследования

Contribution of the authors

A.V. Chernyshev – setting research objectives, collecting and processing research materials, describing the study, and formulating conclusions

V.M. Zubkova – setting the research objective, revising the introduction, formulating the relevance and conclusions of the study

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи
All authors have read and approved the final manuscript