

ВЛИЯНИЕ ЭКЗОТИЧЕСКОГО *EISENIA NANA* (OPISTHOPORA, LUMBRICIDAE) НА КАТИОННЫЙ СОСТАВ ТРЕХ ТИПОВ ПОЧВ ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ (ЭКСПЕРИМЕНТ В МИКРОКОСМАХ)

К. А. Бабий, С. Ю. Князев, Е. В. Голованова, А. С. Абраменко

Омский государственный педагогический университет, Россия, 644099, Омск, наб. Тухачевского, 14

labinvert@omgpu.ru

Аннотация. Климатические изменения способствуют внедрению экзотических видов дождевых червей на новые территории. При внедрении чужеродные виды модифицируют химический состав и свойства почвы, что приводит к изменению доступности питательных веществ для растений. На юге Западной Сибири обнаружен новый экзотический вид *Eisenia nana* (Perel, 1985), который может стать конкурентом для нативного вида *Eisenia nordenskioldi nordenskioldi* (Eisen, 1879), распространенного преимущественно в естественных местообитаниях, и синантропного *Lumbricus rubellus* (Hoffmeister, 1843). Целью данной работы является изучение и сравнение влияния почвенно-подстилочных видов червей: аборигенного, синантропного и экзотического – на изменение доступности катионов NH_4^+ , K^+ , Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} в трех типах почв: чернозем обыкновенный (Haplic Chernozem), лугово-черноземные (Calcic Chernozem) и серые лесные (Greyic Phaeozem). Для этого был проведен лабораторный эксперимент в микрокосмах в условиях климатических камер с постоянными характеристиками среды. Определение количественного состава водорастворимых форм катионов проводилось с помощью системы капиллярного электрофореза «Капель-104Т». Данные о влиянии *E. nana* на катионный состав почв приводятся впервые. Дождевые черви меняют доступность катионов во всех трех изученных типах почв, при этом характер таких изменений зависит от начальных свойств почв. Установлено, что экзотический вид сходно с аборигенным *E. n. nordenskioldi* влияет на содержание изученных катионов в почвах, но отличается по значению pH. Наибольшие различия наблюдаются между экзотическим и синантропными видами по K^+ в двух почвах и в одной почве по содержанию ионов NH_4^+ , Na^+ , Mg^{2+} и Ca^{2+} . Таким образом, внедрение *E. nana* не несет потенциальной опасности изменения катионного состава почв для естественных местообитаний *E. n. nordenskioldi*, но, вероятно, может изменить катионный состав почв в нарушенных местообитаниях, где отмечается *L. rubellus*.

Ключевые слова: дождевые черви, *Eisenia*, *Lumbricus*, чужеродные виды, ионы почв, капиллярный электрофорез

Финансирование. Исследование выполнено при поддержке РФФИ (проект № 18-04-00507).

Для цитирования: Бабий К. А., Князев С. Ю., Голованова Е. В., Абраменко А. С. Влияние экзотического *EISENIA NANA* (OPISTHOPORA, LUMBRICIDAE) на катионный состав трех типов почв юга Западной Сибири (эксперимент в микрокосмах) // Russian Journal of Ecosystem Ecology. 2021. Vol. 6 (3). <https://doi.org/10.21685/2500-0578-2021-3-2>

INFLUENCE OF EXOTIC *EISENIA NANA* (OPISTHOPORA, LUMBRICIDAE) ON THE CATIONIC COMPOSITION OF THREE TYPES OF SOILS IN SOUTH WESTERN SIBERIA (EXPERIMENT IN MICROCOSMS)

K. A. Babi, S. Yu. Kniazev, E. V. Golovanova, A. S. Abramenko

Omsk State Pedagogical University, 14 Naberezhnaya Tukhachevskogo, Omsk, 644099, Russia

labinvert@omgpu.ru

Abstract. Climate change contributes to the invasion of earthworms into new lands. While invading, the invasive species alter the chemical composition and properties of the soil, which leads to the alteration of nutrients availability for plants. In the South of the Western Siberia there has been found a new exotic species *Eisenia nana* (Perel, 1985), which can become a competitor of the native species *Eisenia nordenskioldi nordenskioldi* (Eisen, 1879), spread mainly in natural habitats; and synanthropic *Lumbricus rubellus* (Hoffmeister, 1843). The aim of this

research is to study and compare the influence of earthworm species: native, synanthropic and exotic, on the alteration of the cations NH_4^+ , K^+ , Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} availability in the three types of soil: haplic chernozem, calcic chernozem and greyic phaeozem. For the purpose of the research, a laboratory experiment has been conducted in microcosms in the conditions of constant climate chambers. The quantity content of water-soluble cations has been determined using capillary electrophoresis system Capel-104T. The data on the influence of *E. nana* on the cation composition of soils has been presented for the first time. Earthworms change the availability of cations in all the three types of soils under study. With that, the character of the changes depends on the initial qualities of earthworms. It has been established that the exotic species influences on the cations composition in a similar way to that of the native *E. n. nordenskioldi*, but differs in the pH value. The biggest difference has been observed between the exotic and synanthropic species in K^+ in the two soils and in one type of soil in the content of NH_4^+ , Na^+ , Mg^{2+} and Ca^{2+} ions. Therefore, the invasion of *E. nana* does not incur any potential danger of altering the cation composition of soils for natural habitats of *E. n. nordenskioldi*, but might probably alter the cation composition of the disturbed habitats, where *L. rubellus* has been noted.

Keywords: earthworms, *Eisenia*, *Lumbricus*, alien species, cationic composition of soils, capillary electrophoresis

Financing. The research was performed within the framework of RFBR grant (project № 18-04-00507).

For citation: Babiy K.A., Kniazev S.Yu., Golovanova E.V., Abramenko A.S. Influence of exotic *EISENIA NANA* (OPISTHOPORA, LUMBRICIDAE) on the cationic composition of three types of soils in south Western Siberia (experiment in microcosms). *Russian Journal of Ecosystem Ecology*. 2021;6(3). (In Russ.). Available from: <https://doi.org/10.21685/2500-0578-2021-3-2>

Введение

Дождевые черви способствуют поддержанию баланса доступности питательных веществ для растений [1]. Они влияют на содержание доступного аммония в почве [2, 3], который является основным источником неорганического азота для растений [4], и калия [5], который влияет на рост растений [3]. Дождевые черви изменяют в почве содержание подвижного магния [6], дефицит которого влияет на фотосинтез и распределение углеводов [7, 8], и кальция [6] – структурного компонента клеточных стенок и мембран и вторичного внутриклеточного посредника [9].

Внедрение экзотических видов способно трансформировать почвы [10, 11], а также изменять доступность питательных веществ для растений [12, 13]. Направление изменения доступности элементов, по всей видимости, зависит от вида экзотических дождевых червей. Так, *Pontoscolex corethrurus* (Müller, 1857) в Колумбии [14], а также *Aporrectodea caliginosa* (Savigny, 1826) и *Aporrectodea rosea* (Savigny, 1826) в Центральной Аргентине [15] уменьшали доступность кальция, магния и калия по сравнению с почвами, где обитали нативные виды дождевых червей. Уменьшение доступности питательных веществ может привести к снижению урожайности и сокращению общего биоразнообразия [11, 16, 17] в экосистемах. В почвах лесов Северной Америки внедрение экзотического *Lumbricus rubellus* (Hoffmeister, 1843) способствовало повышению доступности кальция, магния и калия в верхних слоях почвы [18]. В лабораторном эксперименте с червями, обитающими в Западной Сибири,

определено, что перекрестный *L. rubellus* увеличивал содержание Na^+ и NH_4^+ по сравнению с нативным *Eisenia nordenskioldi nordenskioldi* (Eisen, 1879) [19]. Повышение доступности питательных веществ может увеличить рост и продукцию растений [3, 20], но при этом существует возможность возникновения конкурентных преимуществ для отдельных видов растений в результате перераспределения питательных веществ [21]. Такими растениями могут стать инвазивные виды, которые эволюционно связаны с дождевыми червями в естественном ареале [22].

На территории юга Западной Сибири обнаружен новый экзотический вид *Eisenia nana* (Perel, 1985) [23]. Вид впервые был описан в горной части Рудного Алтая [24], и в литературе нет данных, описывающих его биологию, экологию и влияние на окружающую среду. В соответствии с кадастром дождевых червей России [25] этот вид не был ранее зарегистрирован на территории РФ. *E. nana*, как и аборигенный *E. n. nordenskioldi* [26] и синантропный *L. rubellus* [25, 27, 28], относится к почвенно-подстилочным видам. Все три вида обитают в верхнем слое почвы, в котором будут происходить возможные изменения содержания катионов. Внедрение *E. nana*, возможно, связано со смягчением климатических условий в Западной Сибири [29], и при дальнейших изменениях вид, вероятно, усилит свою экспансию и составит конкуренцию, а потенциально – может вытеснить два других почвенно-подстилочных вида. В данном исследовании мы предположили, что доступность катионов в почвах под воздействием *E. nana* может отличаться от почв, на которые оказывали влияние нативный *E. n. nordenskioldi* и синантропный *L. rubellus*.

Целью данного исследования является сравнительный анализ воздействия экзотического *E. nana*, аборигенного *E. n. nordenskioldi* и синантропного *L. rubellus* на катионный состав (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , NH_4^+) трех типов почв в условиях лабораторного эксперимента в микрокосмах.

Материалы и методы

Объектами исследования служили три вида почвенно-подстилочных дождевых червей, которые были собраны в Омской области (Россия): нативный вид *E. n. nordenskioldi* (территория Парка культуры и отдыха имени 30-летия Победы, г. Омск, 54°57' N, 73°21' E), синантропный *L. rubellus* (территория садоводческого некоммерческого товарищества «Водник», г. Омск, 55°02' N, 73°22' E) и экзотический *E. nana* (окрестности с. Чернолучье, Омский район, 55°16' N, 73°01' E).

Половозрелые дождевые черви были собраны из подстилки и верхних слоев почвы до 15 см глубины. Так как способность дождевых червей изменять доступность питательных веществ зависит от свойств почвы [12], то в эксперименте черви содержались в трех естественных типах почв, распространенных в Западной Сибири. Для эксперимента почвы были собраны с трех участков: чернозем обыкновенный (Haplic Chernozem по WRB, 2006 [30], Hap) (исследовательский полевой стационар Омской экологической станции юных натуралистов, г. Омск, N 54°58'50.9", E 73°18'10.0"), лугово-черноземные (Calcic Chernozem по WRB, 2006 [30], Cal) (исследовательский полевой стационар Омского государственного педагогического университета, г. Омск, N 55°02'38.9", E 73°22'52.4") и серые лесные (Greyic Phaeozem по WRB, 2006 [30], Gre) (окрестности с. Чернолучье, Омский район, N 55°16'33.6", E 73°02'35.3"). Характеристики почв отражены в табл. 1.

Таблица 1

Физические и химические свойства используемых почв

Table 1

Physical and chemical properties of the studied soil types

Тип почвы	Механический состав, %			Гумус, %	Концентрации ионов в почвах, мг/кг					pH
	песок	глина	ил		NH_4^+	K^+	Na^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	
Haplic Chernozem	18,8 ±0,9	44,1 ±8,8	18,4 ±2,2	5,2 ±0,3	1,07 ±0,92	17,2 ±0,9	5,11 ±0,52	8,63 ±0,27	47,8 ±1,6	6,86 ±0,05
Calcic Chernozem	20,2 ±1,8	33,8 ±5,1	26,6 ±2,1	6,0 ±0,9	0,33 ±0,08	4,55 ±0,57	88,8 ±6,0	8,84 ±0,42	39,3 ±1,4	7,52 ±0,03
Greyic Phaeozem	10,7 ±1,2	61,4 ±3,7	17,2 ±3,4	3,5 ±0,3	3,90 ±1,49	41,9 ±3,8	4,48 ±0,30	4,35 ±0,23	26,2 ±1,1	6,03 ±0,04

Эксперимент проводился в двухлитровых пластиковых контейнерах с перфорированными крышками (далее – микрокосм), заполненных на 1,4 л почвой, которая для удаления почвенной макрофауны была просеяна через сито с диаметром отверстий 4 мм. Во все микрокосмы на поверхность почвы укладывалась подстилка из сухих листьев *Populus tremula* (L., 1753) массой $8,00 \pm 0,05$ г. В каждый микрокосм добавляли по 5 особей дождевых червей. Средняя биомасса особей на микрокосм составила $3,3 \pm 0,1$ г для *E. n. nordenskioldi*, $3,8 \pm 0,2$ г для *L. rubellus* и $3,5 \pm 0,2$ г для *E. nana*. Для очистки кишечника перед экспериментом дождевые черви содержались двое суток в отдельных контейнерах с той же почвой, которая использовалась в соответствующем варианте эксперимента.

Всего было 12 вариантов эксперимента: 3 типа почв × (3 вида дождевых червей + кон-

троль без дождевых червей). Каждый вариант эксперимента воспроизводился в 5 повторностях. Микрокосмы содержались в климатических камерах при температуре 13 °C и влажности почвы 40 %. Влажность почвы контролировалась почвенным влагомером TR 46908 (TR di Tugoni & c. Snc, Италия). Образцы почвы отбирались спустя 90 дней и сразу же высушивались при температуре 60 °C.

Для определения содержания катионов аммония, калия, натрия, магния и кальция в водных вытяжках почв использовали систему капиллярного электрофореза Капель-104Т (Люмэкс, Россия). Подготовка почвы, приготовление водной вытяжки и анализ проводились согласно аттестованной методике ПНД Ф 16.1:2.2.2:2.3.74-2012 [31]. pH образцов определяли в смеси почвы с деионизированной водой (соотношение 1:5) с помощью комбинированного электрода ЭСК-10301 на Анион-

4100 (НПП Инфраспек-Аналит, Россия) [32]. Анализ водорастворимых форм катионов позволяет дать корректную оценку влияния дождевых червей на доступность элементов питания почвы для растений [33].

Для оценки разницы воздействия дождевых червей на состав катионов в почве данные были преобразованы в натуральный логарифм отношения свойства почв к контрольной почве ($\text{LnRR} = \ln [\text{свойство почвы/свойство контроля}]$) для каждой повторности. $\text{LnRR} < 0$ подразумевает отрицательное влияние дождевых червей на доступность питательных веществ в каждом типе почв, тогда как $\text{LnRR} > 0$ подразумевает их положительное влияние на доступность питательных веществ. Нормальность данных оценивали с помощью теста Шапиро – Уилка в программном пакете Statistica 13.0.

Для получения общих моделей дисперсии использовали метод главных компонент (PCA) с матрицей из 60 повторностей и 6 переменных в программном пакете Past 4.05 [34]. Для расчета использовались логарифмированные данные (LnRR). Метод PCA позволяет визуализировать

данные меньшего набора переменных, но при этом сохраняет максимум информации из исходного набора переменных [34]. Результаты PCA были представлены в виде двухмерных графиков с использованием первых двух основных компонент с более высокой вариабельностью данных.

Влияние видов дождевых червей на катионный состав почв проверяли с помощью двух- и однофакторного ANOVA с последующим использованием попарного критерия Тьюки (Tukey HSD test) для установления разницы между влиянием видов в программном пакете Statistica 13.0.

Результаты исследований

По результатам эксперимента установлено, что почва Cal с экзотическим *E. nana* по сравнению с контрольными почвами содержит больше доступного аммония и калия, а также обладает более низким рН. В почвах Gre и Hap этот вид увеличивал содержание кальция (рис. 1).

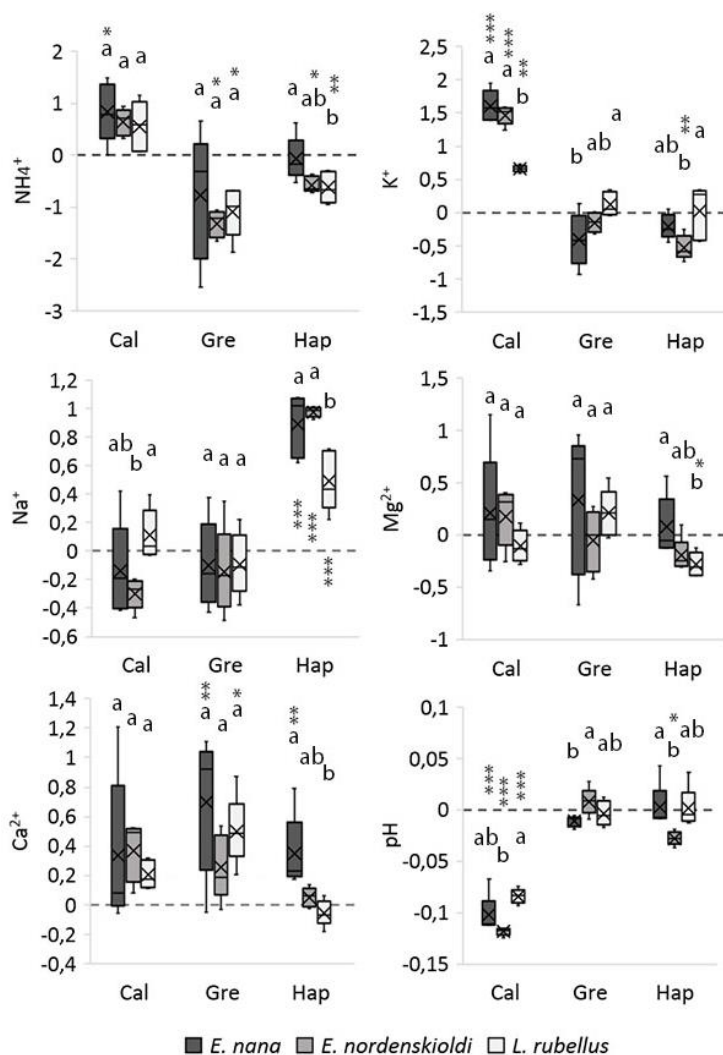


Рис. 1. Интенсивность воздействия видов дождевых червей ($\text{LnRR} = \ln (\text{вариант} / \text{контроль})$) на катионный состав почв. Сравнения в пределах видов дождевых червей указаны строчными буквами. Варианты с разными буквами достоверно отличаются ($\alpha = 0,05$). Пунктирная линия представляет собой нулевое влияние дождевого червя ($\text{LnRR} = 0$). Значительное отличие от 0 было проверено с помощью t-теста одной выборки и обозначено следующим образом: «*» – $p < 0,05$; «**» – $p < 0,01$; «***» – $p < 0,001$

Fig. 1. Impact intensity of the earthworm species ($\ln (\text{soil property}/\text{control property})$) on the cationic composition of soils. Comparisons within the earthworm species are indicated with small letters. The variants with various letters are significantly different ($\alpha = 0.05$). The dotted line represents the zero effect of earthworms ($\ln = 0$). A significant difference from 0 was verified using the t-test of each sampling and is indicated as follows («*» – $p < 0.05$; «**» – $p < 0.01$; «***» – $p < 0.001$)

Согласно результатам двухфакторного ANOVA (табл. 2) в исследовании тип почвы влиял на изменение всех показателей, кроме содержания ионов магния. Вид дождевых чер-

вей влиял на изменение содержания кальция и pH почвы. Взаимодействие факторов «вид» и «почва» влияло на изменение доступности кальция, натрия, а также на кислотность почвы.

Таблица 2

Двухфакторный тест ANOVA для оценки влияния факторов на изменение ионного состава трех типов почв с индексом LnRR

Table 2

Two-way ANOVA analysis in assessing the influence of factors on the ionic composition of 3 types of soils with the LnRR index

	NH ₄ ⁺	K ⁺	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	pH
Вид	2,46	0,45	0,22	2,43	3,44*	4,73*
Почва	37,36***	168,15***	71,09***	2,77	6,08**	222,79***
Вид*Почва	0,23	16,07***	4,65**	0,78	1,33	5,17**

Примечание. В таблице приведены соответствующие значения F. Уровень значимости результатов исследований обозначен «*» – p < 0,05; «**» – p < 0,01; «***» – p < 0,001.

Согласно ANOVA, виды дождевых червей оказывали различное влияние на содержание ионов калия и pH во всех почвах и в двух поч-

вах на содержание ионов натрия. В Нар виды дождевых червей по-разному влияли на все измеренные компоненты (табл. 3).

Таблица 3

Тест ANOVA для оценки интенсивности влияния дождевых червей (LnRR) на изменение катионного состава трех типов почв

Table 3

ANOVA test in assessing the intensity of the earthworm effect on the ionic composition in 3 types of soils with the LnRR index

Компонент	Тип почвы		
	Cal	Gre	Нар
NH ₄ ⁺	0,47	0,62	4,62*
K ⁺	51,39***	4,84*	4,86*
Na ⁺	4,07*	0,05	10,81**
Mg ²⁺	1,06	0,94	4,24*
Ca ²⁺	0,35	2,24	8,42**
pH	9,99**	4,11*	4,68*

Примечание. В таблице приведены соответствующие значения F. Уровень значимости результатов исследований обозначен «*» – p < 0,05; «**» – p < 0,01; «***» – p < 0,001.

РСА также показывает, что виды дождевых червей по-разному модифицировали состав почв, причем характер изменений зависел от типа почв для всех компонентов (рис. 2). Для всех трех почв первые две компоненты описывают не менее 85 % от общей инерции.

В Нар наиболее значимые различия наблюдаются у экзотического вида *E. nana* и синантропного *L. rubellus* (см. рис. 2,С): содержание ионов аммония, натрия, магния и кальция в вариантах с экзотическим видом достоверно выше, чем в вариантах с *L. rubellus* (см. рис. 1). В почве Cal содержание ионов калия также выше в вариантах с *E. nana* по сравнению с *L. rubellus* (см. рис. 1).

Во всех почвах наблюдается тенденция к повышению содержания ионов кальция в вариантах с экзотическим *E. nana* (см. рис. 2), причем это достоверно для Gre и Нар (см. рис. 1). *E. nana* слабо отличается от нативного *E. n. nordenskioldi* в модификации катионного состава. Эти виды очень похоже влияют на почвы Cal и Нар (см. рис. 2,А,С), но в Нар есть минимальные различия. *E. nana* достоверно увеличил содержание ионов кальция по сравнению с нативным видом (см. рис. 1). В Gre и Нар в вариантах с нативным *E. n. nordenskioldi* pH достоверно отличается от *E. nana*.

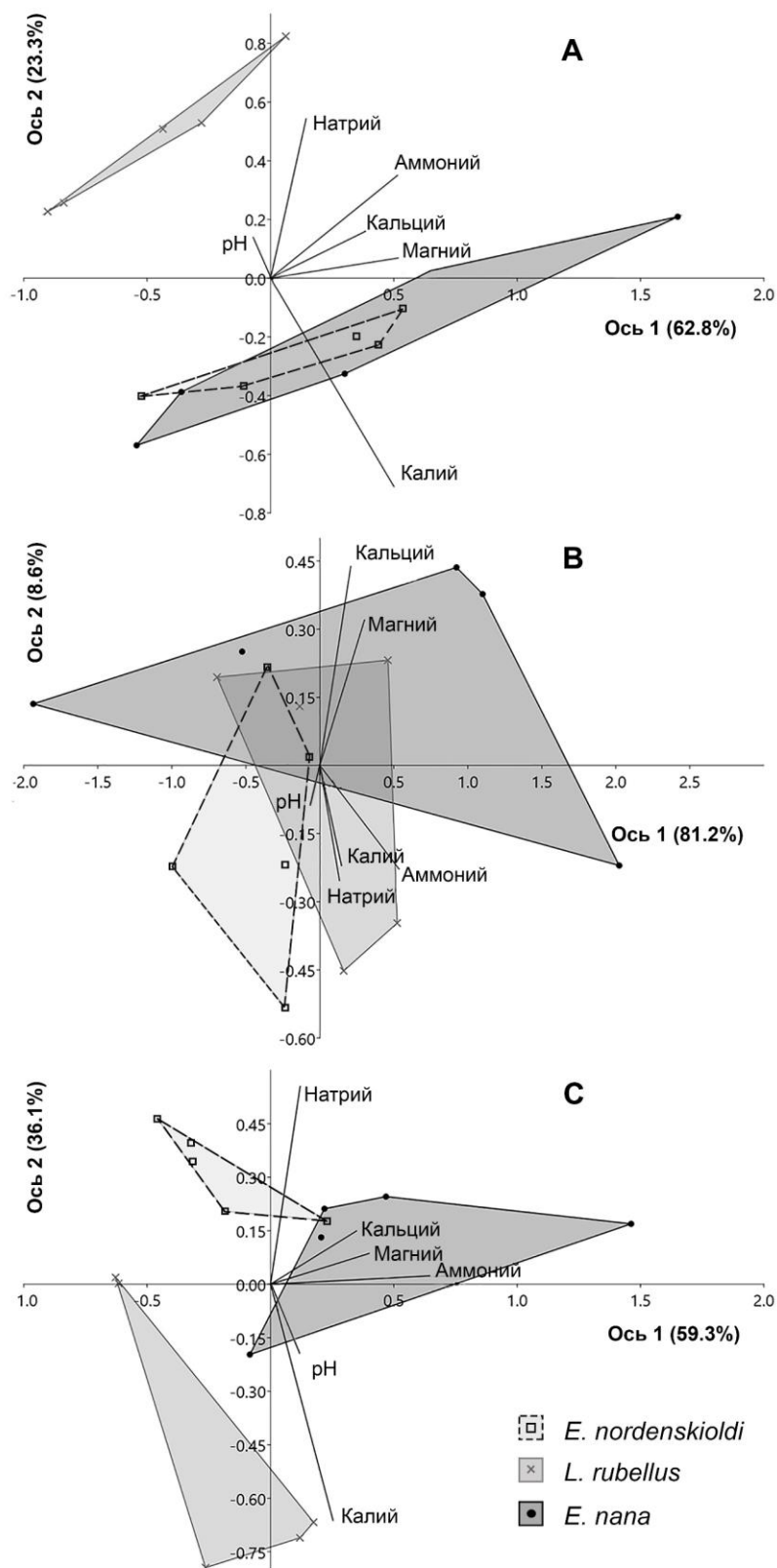


Рис. 2. Факторные плоскости и соответствующие корреляционные вектора (наложены на плоскость) оценки влияния трех видов дождевых червей на изменение катионного состава почв методом PCA (A – Cal, B – Gre, C – Nap; многоугольники: светло-серый – *E. n. nordenskioldi*, серый – *L. rubellus*, темно-серый – *E. nana*)

Fig. 2. The factorial planes and the corresponding correlation vectors (combined with the plane) in assessing the influence of 3 earthworm species on changes in the soil cationic content by PCA. A – Cal, B – Gre, C – Nap. Polygons: light grey – *E. nordenskioldi*; grey – *L. rubellus*; dark grey – *E. nana*. Percentage of the total inertia for each axis is shown in brackets

Обсуждение результатов

Результаты исследования подтверждают определяющее значение начальных характеристик типов почв на характер изменений содержания питательных веществ под воздействием дождевых червей [12]. Эта закономерность справедлива и для экзотических червей и подтверждается исследованиями: *Pontoscolex corethrurus* в Мексике и Бразилии [35], *Aporrectodea calginosa* (Savigny, 1826) и *Octolasion lacteum* (Orley, 1881) в Новой Зеландии [36].

Выявленная нами закономерность различий влияния на доступность катионов между экзотическим *E. nana* и нативным *E. n. nordenskioldi* подтверждается и для других территорий с видами-вселенцами. Так, в Новой Зеландии экзотические *A. calginosa* и *O. lacteum* меняли содержание аммония и рН в почве отлично от нативных для данной территории видов [36]. В Западной Сибири чужеродный *L. rubellus* в лабораторных условиях увеличивал содержание ионов натрия и аммония в почве по сравнению с аборигенным *E. n. nordenskioldi* [19].

L. rubellus не является родным видом для юга Западной Сибири [25], но его воздействие на доступность катионов также отличается от *E. nana* в нашем исследовании. Схожая картина в разнице влияния между видами-вселенцами наблюдалась и на территории северо-востока США, где азиатский *A. hilgendorfi* увеличивал содержание минерального азота в почве по сравнению с европейским *L. rubellus* [37].

Наблюдаемая близость изменения доступности ряда питательных веществ внутри рода *Eisenia* относительно рода *Lumbricus* в почвах (см. рис. 1, 2), возможно, связана со сходством микробных сообществ кишечника в каждом отдельном роде [38, 39]. Также следует отметить, что в работе [40] *E. nana* указывается как генетическая линия *E. n. nordenskioldi*, хотя и значительно отличается генетически, и рассматривается в составе единой группы видов *E. nordenskioldi s.l.*, что может объяснить сходство их влияния на процессы изменения концентрации катионов.

Причинами разницы во влиянии на содержание катионов между видами в пределах одной почвы в нашем исследовании могут служить особенности биологии дождевых червей. Видоспецифичный процесс [41] образования гранул карбоната кальция, способствующий подщелачиванию почвы, или индивидуальное производство нитратов, которые могли привести к высвобождению протонов и подкислить почву [5], способны приводить к изменению рН почвы в соответствии с принадлежностью к

виду [42]. Видоспецифичность образования гранул карбоната кальция также объясняет различия в содержании кальция и магния в почве между видами [43]. В данном исследовании показатель рН почвы зависит от вида и отличен от рН исходной почвы (см. рис. 1). Процесс агрегации почвы [44] и кишечная микрофлора дождевого червя [45] также зависят от вида. Совместно с рН эти факторы активно модифицируют микробное сообщество почв [46, 47], которое определяет процессы изменения доступности питательных веществ [39, 48], и эти изменения также будут зависеть от вида дождевого червя.

Ряд авторов отмечают, что содержание калия в почвах определяется процессами в кишечнике дождевого червя, в том числе микробными [49, 50]. Но в то же время известно, что доступность K^+ снижается при повышении рН, и наоборот [51], что подтверждается нашими данными (см. рис. 1). При этом с учетом общих закономерностей изменения существует достоверная разница между видами внутри одной почвы. Доступность Na^+ отрицательно коррелирована со значением рН [51]; в данном исследовании такая закономерность отсутствует, и, возможно, влияние микробиоты более значимо и определяет видовую специфику (см. рис. 1) [52].

Известно, что минерализация азота увеличивается в присутствии дождевых червей [53, 54], что проявляется и в увеличении содержания аммония. Однако в нашей работе этот эффект наблюдается только в варианте с *E. nana* в одной почве Cal (см. рис. 2, A). В Gre и Nap снижение иона аммония не происходило только с экзотическим видом, в то время как два других вида снижали его концентрацию. На содержание аммония могла влиять способность дождевых червей обогащать почву азотфиксирующими или денитрифицирующими бактериями в зависимости от вида [55].

Заключение

E. nana увеличивает доступность кальция, аммония и калия в почвах. На данный момент вид отмечен в естественных биотопах, где обитает нативный *E. n. nordenskioldi*. Согласно результатам эксперимента, потенциальная смена нативного вида экзотическим *E. nana* или их совместное обитание вероятнее всего не представляют опасности для изменения доступности катионов, хотя отличие рН почвы, где обитает *E. nana*, от почв с *E. n. nordenskioldi* выглядит тревожным. Внедрение *E. nana* в агроценозы, где на данный момент обитает

L. rubellus, может изменить содержание доступных водорастворимых форм K^+ , Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} и NH_4^+ в почве в случае конкурентных преимуществ экзотического вида. Для правильного понимания и прогнозирования таких

последствий необходимо провести полевые исследования влияния *E. nana* на характеристики различных типов почв, его взаимодействия с другими видами дождевых червей, а также их совместного воздействия на показатели почвы.

Список литературы

1. van Groenigen J., Lubbers I., Vos H. Earthworms increase plant production: a meta-analysis // *Scientific Reports*. 2015. Vol. 4 (1). P. 6365.
2. Ortiz-Ceballos A. I., Pena-Cabriales J. J., Fragoso C., Brown G. G. Mycorrhizal colonization and nitrogen uptake by maize: combined effect of tropical earthworms and velvetbean mulch // *Biology and Fertility of Soils*. 2007. Vol. 44 (1). P. 181–186.
3. Lemtiri A., Colinet G., Alabi T., Cluzeau D. Impacts of earthworms on soil components and dynamics. A review // *Biotechnology, Agronomy and Society and Environment*. 2014. Vol. 18 (1). P. 121–133.
4. Liu Y., von Wirén N. Ammonium as a signal for physiological and morphological responses in plants // *Journal of Experimental Botany*. 2017. Vol. 68 (10). P. 2581–2592.
5. Scharenbroch B. C., Johnston D. P. A microcosm study of the common night crawler earthworm (*Lumbricus terrestris*) and physical, chemical and biological properties of a designed urban soil // *Urban Ecosystems*. 2011. Vol. 14 (1). P. 119–134.
6. Adejuyigbe C. O., Tian G., Adeoye G. O. Microcosmic study of soil microarthropod and earthworm interaction in litter decomposition and nutrient turnover // *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 2006. Vol. 75 (1). P. 47–55.
7. Farhat N., Elkhouni A., Zorrig W., Smaoui A. Effects of magnesium deficiency on photosynthesis and carbohydrate partitioning // *Acta Physiologiae Plantarum*. 2016. Vol. 38 (6). P. 145.
8. Wang Z., Hassan M. U., Nadeem F. [et al.]. Magnesium fertilization improves crop yield in most production systems: a meta-analysis // *Frontiers in Plant Science*. 2020. Vol. 10. P. 1727.
9. Thor K. Calcium-nutrient and messenger // *Frontiers in Plant Science*. 2019. Vol. 10. P. 440.
10. Ferlian O., Thakur M. P., Gonzalez A. [et al.]. Soil chemistry turned upside down: A meta-analysis of invasive earthworm effects on soil chemical properties // *Ecology*. 2020. Vol. 101 (3). e02936.
11. Eisenhauer N., Schlaghamerský J., Reich P. B., Frelich L. E. The wave towards a new steady state: Effects of earthworm invasion on soil microbial functions // *Biological Invasions*. 2011. Vol. 13 (10). P. 2191–2196.
12. Mudrák O., Frouz J. Earthworms increase plant biomass more in soil with no earthworm legacy than in earthworm-mediated soil, and favour late successional species in competition // *Functional Ecology*. 2018. Vol. 32 (3). P. 626–635.
13. Bottinelli N., Jouquet P., Capowiez Y., Podwojewski P. Why is the influence of soil macrofauna on soil structure only considered by soil ecologists? // *Soil Tillage research*. 2015. Vol. 146. P. 118–124.
14. Marichal R., Feijoo M. A., Praxedes C., Ruiz D. Invasion of *Pontoscolex corethrurus* (Glossoscolecidae, Oligochaeta) in landscapes of the Amazonian deforestation arc // *Applied Soil Ecology*. 2010. Vol. 46 (3). P. 443–449.
15. Falco L. B., Sandler R., Momo F. [et al.]. Earthworm assemblages in different intensity of agri-cultural uses and their relation to edaphic variables // *Pedobiologia (Jena)*. 2015. Vol. 3. P. 1–18.
16. Fleri J. R., Martin T. G., Rodewald A. D., Arcese P. Non-native earthworms alter the assembly of a meadow plant community // *Biological Invasions*. 2021. Vol. 23 (8). P. 2407–2415.
17. Craven D., Thakur M. P., Cameron E. K. [et al.]. The unseen invaders: introduced earthworms as drivers of change in plant communities in North American forests (a metaanalysis) // *Global Change Biology*. 2017. Vol. 23 (3). P. 1065–1074.
18. Resner K., Yoo K., Sebestyen S. D. [et al.]. Invasive earthworms deplete key soil inorganic nutrients (Ca, Mg, K, and P) in a northern hardwood forest // *Ecosystems*. 2015. Vol. 18 (1). P. 89–102.
19. Бабий К. А., Цвирко Е. И., Князев С. Ю. [и др.]. Ионный состав почв под воздействием *Eisenia nordenskioldi nordenskioldi* и *Lumbricus rubellus* в условиях микрокосмов // *Russian Journal of Ecosystem Ecology*. 2020. Vol. 5 (4). 13 с.
20. Li X., Fisk M. C., Fahey T. J., Bohlen P. J. Influence of earthworm invasion on soil microbial biomass activity in a northern hardwood forest // *Soil Biology and Biochemistry*. 2002. Vol. 34 (12). P. 1929–1937.
21. Zaller J. G., Wechselberger K. F., Gorfer M. [et al.]. Subsurface earthworm casts can be important soil microsites specifically influencing the growth of grassland plants // *Biology and Fertility of Soils*. 2013. Vol. 49 (8). P. 1097–1107.
22. Dobson A. M., Blossey B., Richardson J. B. Invasive earthworms change nutrient availability and uptake by forest understory plants // *Plant and Soil*. 2017. Vol. 421 (1–2). P. 175–190.
23. Голованова Е. В. Дождевые черви-вселенцы в Западной Сибири // *Экология и эволюция: новые горизонты: материалы Междунар. симпозиума, посвящ. 100-летию академика С. С. Шварца*. Екатеринбург, 2019. С. 494–495.
24. Перель Т. С. Особенности фауны дождевых червей (Oligochaeta, Lumbricidae) в Алтайских рефугиумах неморальной растительности // *Доклады академии наук СССР*. 1985. Т. 283 (3). С. 752–756.

25. Всеволодова-Перель Т. С. Дождевые черви фауны России: Кадастр и определитель. М. : Наука, 1997. 102 с.
26. Шеховцов С. В., Берман Д. И., Голованова Е. В., Пельтек С. Е. Генетическое разнообразие дождевого червя *Eisenia nordenskioldi* (Lumbricidae, Annelida) // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2017. Т. 21, № 5. С. 588–595.
27. Перель Т. С. Распространение и закономерности распределение дождевых червей фауны СССР. М. : Наука, 1979. 272 с.
28. Shekhovtsov S. V., Bazarova N. E., Berman D. I. [et al.]. DNA barcoding: how many earthworm species are there in the south of West Siberia? // Russian Journal of Genetics: Applied Research. 2017. Vol. 7 (1). P. 57–62.
29. Sada R., Schmalz B., Kiesel J., Fohrer N. Projected changes in climate and hydrological regimes of the Western Siberian lowlands // Environmental Earth Sciences. 2019. Vol. 78 (20). P. 1–15.
30. IUSS Working Group WRB. 2006. World reference base for soil resources 2006. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports. FAO. Rome, 2006. 145 p.
31. ПНД Ф 16.1:2.2:2.3.74-2012. Методика измерений массовой доли водорастворимых форм катионов в почвах, грунтах, глине, торфе, осадках сточных вод, активном иле, донных отложениях методом капиллярного электрофореза с использованием системы капиллярного электрофореза «Капель». М., 2012. 29 с.
32. ГОСТ 26423-85. Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, рН и плотного остатка водной вытяжки. Постановление Госкомитета СССР по стандартам от 08.02.1985 № 283. М. : Изд-во Стандартов, 1985. 10 с.
33. Sizmur T., Hodson M. E. Do earthworms impact metal mobility and availability in soil? – a review // Environmental Pollution. 2009. Vol. 157 (7). P. 1981–1989.
34. Hammer Ø., Harper D. A. T., Ryan P. D. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis // Palaeontologia Electronica. 2001. Vol. 4 (1). P. 1–9.
35. Taheri S., Pelosi C., Dupont L. Harmful or useful? A case study of the exotic peregrine earthworm morphospecies *Pontoscolex corethrurus* // Soil Biology and Biochemistry. 2018. Vol. 116. P. 277–289.
36. Kim Y-N., Robinson B., Boyer S. [et al.]. Interactions of native and introduced earthworms with soils and plant rhizospheres in production landscapes of New Zealand // Applied Soil Ecology. 2015. Vol. 96. P. 141–150.
37. Greiner H. G., Kashian D. R., Tieg S. D. Impacts of invasive Asian (*Amyntas hilgendorfi*) and European (*Lumbricus rubellus*) earthworms in a North American temperate deciduous forest // Biological Invasions. 2012. Vol. 14 (10). P. 2017–2027.
38. Drake H. L., Horn M. A. As the worm turns: the earthworm gut as a transient habitat for soil microbial biomes // Annual Review of Microbiology. 2007. Vol. 61 (1). P. 169–189.
39. Schlatter D., Baugher C., Kendall K., Huggins D. Bacterial communities of soil and earthworm casts of native Palouse Prairie remnants and no-till wheat cropping systems // Soil Biology and Biochemistry. 2019. Vol. 139 (4). e107625.
40. Shekhovtsov S. V., Shipova A. A., Poluboyarova T. V., Vasiliev G. V. Delimitation of the *Eisenia nordenskioldi* Complex (Oligochaeta, Lumbricidae) Using Transcriptomic Data // Frontiers in Genetics. 2020. Vol. 11. e01508.
41. Canti M. G., Pearce T. G. Morphology and dynamics of calcium carbonate granules produced by different earthworm species: The 7th International Symposium on Earthworm Ecology Cardiff Wales 2002 // Pedobiologia. 2003. Vol. 47 (5-6). P. 511–521.
42. García-Montero L. G., Valverde-Asenjo I., Grande-Ortiz M. A., Menta C. Impact of earthworm casts on soil pH and calcium carbonate in black truffle burns // Agroforestry Systems. 2013. Vol. 87 (4). P. 815–826.
43. Versteegh E. A. A., Black S., Hodson M. E. Environmental controls on the production of calcium carbonate by earthworms // Soil Biology and Biochemistry. 2014. Vol. 70. P. 159–161.
44. Frazao J., de Goede R. G. M., Capowiez Y., Pulleman M. M. Soil structure formation and organic matter distribution as affected by earthworm species interaction and crop residues placement // Geoderma. 2019. Vol. 338. P. 453–463.
45. Sapkota R., Santos S., Farias P. [et al.]. Insights into the earthworm gut multi-kingdom microbial communities // Science of The Total Environment. 2020. Vol. 727. e138301.
46. Gong X., Wang S., Wang Z. [et al.]. Earthworms modify soil bacterial and fungal communities through enhancing aggregation and buffering pH // Geoderma. 2019. Vol. 347. P. 59–69.
47. Medina-Sauza R. M., Álvarez-Jiménez M., Delhal A. [et al.]. Earthworms building up soil microbiota, a review // Frontiers in Environmental Science. 2019. Vol. 7. P. 1–20.
48. Sofi J. A., Lone A. H., Ganie M. A. [et al.]. Soil microbiological activity and carbon dynamics in the current climate change scenarios: a review // Pedosphere. 2016. Vol. 26 (5). P. 577–591.
49. Ros M. B. H., Hiemstra T., van Groenigen J. W. [et al.]. Exploring the pathways of earthworm-induced phosphorus availability // Geoderma. 2017. Vol. 303. P. 99–109.
50. Iordache M., Tudor C., Brei L. Earthworms diversity (Oligochaeta: Lumbricidae) and casting chemical composition in an urban park from Western Romania // Polish Journal of Environmental Studies. 2021. Vol. 30 (1). P. 645–654.
51. Sharpley A. N. Effect of soil pH on cation and anion solubility // Communications in Soil Science and Plant Analysis. 1991. Vol. 22 (9). P. 827–841.

52. Luo A. X., Wang M., Hu G., Weng B. Seasonal Change of Microbial Diversity and Its Relation with Soil Chemical Properties in Orchard // PLoS ONE. 2019. Vol. 14. e0215556.
53. Aira M., Monroy F., Domínguez J. Effects of two species of earthworms (*Allolobophora* spp.) on soil systems: A microfaunal and biochemical analysis // Pedobiologia. 2003. Vol. 47 (5). P. 877–881.
54. Chapuis-Lardy L., Brauman A., Bernard L. [et al.]. Effect of the endogeic earthworm *Pontoscolex corethrurus* on the microbial structure and activity related to CO₂ and N₂O fluxes from a tropical soil (Madagascar) // Applied Soil Ecology. 2010. Vol. 45 (3). P. 201–208.
55. Kostina N. V., Bogdanova T. V., Umarov M. M. Biological activity of the coprolites of earthworms // Moscow University Soil Science Bulletin. 2011. Vol. 66 (1). P. 18–23.

References

1. van Groenigen J., Lubbers I., Vos H. Earthworms increase plant production: a meta-analysis. *Scientific Reports*. 2015;4(1):6365.
2. Ortiz-Ceballos A.I., Pena-Cabriales J.J., Fragoso C., Brown G.G. Mycorrhizal colonization and nitrogen uptake by maize: combined effect of tropical earthworms and velvetbean mulch. *Biology and Fertility of Soils*. 2007;44(1):181–186.
3. Lemtiri A., Colinet G., Alabi T., Cluzeau D. Impacts of earthworms on soil components and dynamics. A review. *Biotechnology, Agronomy and Society and Environment*. 2014;18(1):121–133.
4. Liu Y., von Wirén N. Ammonium as a signal for physiological and morphological responses in plants. *Journal of Experimental Botany*. 2017;68(10):2581–2592.
5. Scharenbroch B.C., Johnston D.P. A microcosm study of the common night crawler earthworm (*Lumbricus terrestris*) and physical, chemical and biological properties of a designed urban soil. *Urban Ecosystems*. 2011;14(1):119–134.
6. Adejuyigbe C.O., Tian G., Adeoye G.O. Microcosmic study of soil microarthropod and earthworm interaction in litter decomposition and nutrient turnover. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 2006;75(1):47–55.
7. Farhat N., Elkhouni A., Zorrig W., Smaoui A. Effects of magnesium deficiency on photosynthesis and carbohydrate partitioning. *Acta Physiologiae Plantarum*. 2016;38(6):145.
8. Wang Z., Hassan M.U., Nadeem F. [et al.]. Magnesium fertilization improves crop yield in most production systems: a meta-analysis. *Frontiers in Plant Science*. 2020;10:1727.
9. Thor K. Calcium-nutrient and messenger. *Frontiers in Plant Science*. 2019;10:440.
10. Ferlian O., Thakur M.P., Gonzalez A. [et al.]. Soil chemistry turned upside down: A meta-analysis of invasive earthworm effects on soil chemical properties. *Ecology*. 2020;101(3):e02936.
11. Eisenhauer N., Schlaghamerský J., Reich P.B., Frelich L.E. The wave towards a new steady state: Effects of earthworm invasion on soil microbial functions. *Biological Invasions*. 2011;13(10):2191–2196.
12. Mudrák O., Frouz J. Earthworms increase plant biomass more in soil with no earthworm legacy than in earthworm-mediated soil, and favour late successional species in competition. *Functional Ecology*. 2018;32(3):626–635.
13. Bottinelli N., Jouquet P., Capowiez Y., Podwojewski P. Why is the influence of soil macrofauna on soil structure only considered by soil ecologists? *Soil Tillage research*. 2015;146:118–124.
14. Marichal R., Feijoo M.A., Praxedes C., Ruiz D. Invasion of *Pontoscolex corethrurus* (Glossoscolecidae, Oligochaeta) in landscapes of the Amazonian deforestation arc. *Applied Soil Ecology*. 2010;46(3):443–449.
15. Falco L.B., Sandler R., Momo F. [et al.]. Earthworm assemblages in different intensity of agricultural uses and their relation to edaphic variables. *Pedobiologia (Jena)*. 2015;3:1–18.
16. Fleri J.R., Martin T.G., Rodewald A.D., Arcese P. Non-native earthworms alter the assembly of a meadow plant community. *Biological Invasions*. 2021;23(8):2407–2415.
17. Craven D., Thakur M.P., Cameron E.K. [et al.]. The unseen invaders: introduced earthworms as drivers of change in plant communities in North American forests (a metaanalysis). *Global Change Biology*. 2017;23(3):1065–1074.
18. Resner K., Yoo K., Sebestyen S.D. [et al.]. Invasive earthworms deplete key soil inorganic nutrients (Ca, Mg, K, and P) in a northern hardwood forest. *Ecosystems*. 2015;18(1):89–102.
19. Babiy K.A., Tsvirko E.I., Knyazev S.Yu. [et al.]. Soil composition under the influence of *Yesenia nordenskioldi* and *Lumbrikus rubellis* under microcosmic conditions. *Russian Journal of Ecosystem Ecology*. 2020;5(4):13. (In Russ.)
20. Li X., Fisk M.C., Fahey T.J., Bohlen P.J. Influence of earthworm invasion on soil microbial biomass activity in a northern hardwood forest. *Soil Biology and Biochemistry*. 2002;34(12):1929–1937.
21. Zaller J.G., Wechselberger K.F., Gorfer M. [et al.]. Subsurface earthworm casts can be important soil microsites specifically influencing the growth of grassland plants. *Biology and Fertility of Soils*. 2013;49(8):1097–1107.
22. Dobson A.M., Blossey B., Richardson J.B. Invasive earthworms change nutrient availability and uptake by forest understory plants. *Plant and Soil*. 2017;421(1–2):175–190.
23. Golovanova E.V. Invasive earthworms in Western Siberia. *Ekologiya i evolyutsiya: novye gorizonty: materialy Mezhdunar. simpoziuma, posvyashch. 100-letiyu akademika S. S. Shvartsa.* = Ecology and evolution: new horizons: proceedings of International symposium dedicated. 100th anniversary of Academician S.S.Schwartz. Ekaterinburg, 2019:494–495. (In Russ.)

24. Perel' T.S. Features of the fauna of earthworms (Oligochaeta, Lumbricidae) in the Altai refugia of nemoral vegetation. *Doklady akademii nauk SSSR = Reports of the USSR Academy of Sciences*. 1985;283(3):752–756. (In Russ.)
25. Vsevolodova-Perel' T.S. *Dozhdevye chervi fauny Rossii: Kadastr i opredelitel'* = Earthworms of the fauna of Russia: Cadastre and Keys. Moscow: Nauka, 1997:102. (In Russ.)
26. Shekhovtsov S.V., Berman D.I., Golovanova E.V., Pel'tek S.E. Genetic diversity of the earthworm *Yesenia nordenskioldi* (Lumbricidae, Annelida). *Vavilovskiy zhurnal genetiki i seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2017;21(5):588–595. (In Russ.)
27. Perel' T.S. *Rasprostranenie i zakonomernosti raspredelenie dozhdevykh chervev fauny SSSR = Distribution and distribution patterns of earthworms of the fauna of the USSR*. Moscow: Nauka, 1979:272. (In Russ.)
28. Shekhovtsov S.V., Bazarova N.E., Berman D.I. [et al.]. DNA barcoding: how many earthworm species are there in the south of West Siberia? *Russian Journal of Genetics: Applied Research*. 2017;7(1):57–62.
29. Sada R., Schmalz B., Kiesel J., Fohrer N. Projected changes in climate and hydrological regimes of the Western Siberian lowlands. *Environmental Earth Sciences*. 2019;78(20):1–15.
30. *IUSS Working Group WRB. 2006. World reference base for soil resources 2006. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports*. FAO. Rome, 2006:145.
31. PND F 16.1:2:2.2:2.3.74-2012. *Metodika izmereniy massovoy doli vodorastvorimykh form kationov v pochvakh, gruntakh, gline, torfe, osadkakh stochnykh vod, aktivnom ile, donnykh otlozheniyakh metodom kapillyarnogo elektroforeza s ispol'zovaniem sistemy kapillyarnogo elektroforeza «Kapel» = Methods for measuring the mass fraction of water-soluble forms of cations in soils, grounds, clay, peat, sewage sludge, activated sludge, bottom sediments by the method of capillary electrophoresis using the “Kapel” capillary electrophoresis system..* Moscow, 2012:29. (In Russ.)
32. GOST 26423-85. *Pochvy. Metody opredeleniya udel'noy elektricheskoy provodimosti, rN i plotnogo ostatka vodnoy vytyazhki. Postanovlenie Goskomiteta SSSR po standartam ot 08.02.1985 № 283 = Soils. Methods for determining the specific electrical conductivity, pH and solid residue of the aqueous extract. Resolution of the USSR State Committee for Standards dated 02/08/1985 No. 283..* Moscow: Izd-vo Standartov, 1985:10. (In Russ.)
33. Sizmur T., Hodson M.E. Do earthworms impact metal mobility and availability in soil? – a review. *Environmental Pollution*. 2009;157(7):1981–1989.
34. Hammer Ø., Harper D.A.T., Ryan P.D. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*. 2001;4(1):1–9.
35. Taheri S., Pelosi C., Dupont L. Harmful or useful? A case study of the exotic peregrine earthworm morphospecies *Pontosclex corethrurus*. *Soil Biology and Biochemistry*. 2018;116:277–289.
36. Kim Y-N., Robinson B., Boyer S. [et al.]. Interactions of native and introduced earthworms with soils and plant rhizospheres in production landscapes of New Zealand. *Applied Soil Ecology*. 2015;96:141–150.
37. Greiner H.G., Kashian D.R., Tieg S.D. Impacts of invasive Asian (*Amyntas hilgendorfi*) and European (*Lumbricus rubellus*) earthworms in a North American temperate deciduous forest. *Biological Invasions*. 2012;14(10):2017–2027.
38. Drake H.L., Horn M.A. As the worm turns: the earthworm gut as a transient habitat for soil microbial biomes. *Annual Review of Microbiology*. 2007;61(1):169–189.
39. Schlatter D., Baugher C., Kendall K., Huggins D. Bacterial communities of soil and earthworm casts of native Palouse Prairie remnants and no-till wheat cropping systems. *Soil Biology and Biochemistry*. 2019;139(4):e107625.
40. Shekhovtsov S.V., Shipova A.A., Poluboyarova T.V., Vasiliev G.V. Delimitation of the *Eisenia nordenskioldi* Complex (Oligochaeta, Lumbricidae) Using Transcriptomic Data. *Frontiers in Genetics*. 2020;11:e01508.
41. Canti M.G., Pearce T.G. Morphology and dynamics of calcium carbonate granules produced by different earthworm species: The 7th International Symposium on Earthworm Ecology Cardiff Wales 2002. *Pedobiologia*. 2003;47(5-6):511–521.
42. García-Montero L.G., Valverde-Asenjo I., Grande-Ortiz M.A., Menta C. Impact of earthworm casts on soil pH and calcium carbonate in black truffle burns. *Agroforestry Systems*. 2013;87(4):815–826.
43. Versteegh E.A.A., Black S., Hodson M.E. Environmental controls on the production of calcium carbonate by earthworms. *Soil Biology and Biochemistry*. 2014;70:159–161.
44. Frazao J., de Goede R.G.M., Capowiez Y., Pulleman M.M. Soil structure formation and organic matter distribution as affected by earthworm species interaction and crop residues placement. *Geoderma*. 2019;338:453–463.
45. Sapkota R., Santos S., Farias P. [et al.]. Insights into the earthworm gut multi-kingdom microbial communities. *Science of The Total Environment*. 2020;727:e138301.
46. Gong X., Wang S., Wang Z. [et al.]. Earthworms modify soil bacterial and fungal communities through enhancing aggregation and buffering pH. *Geoderma*. 2019;347:59–69.
47. Medina-Sauza R.M., Álvarez-Jiménez M., Delhal A. [et al.]. Earthworms building up soil microbiota, a review. *Frontiers in Environmental Science*. 2019;7:1–20.
48. Sofi J.A., Lone A.H., Ganie M.A. [et al.]. Soil microbiological activity and carbon dynamics in the current climate change scenarios: a review. *Pedosphere*. 2016;26(5):577–591.
49. Ros M.B.H., Hiemstra T., van Groenigen J.W. [et al.]. Exploring the pathways of earthworm-induced phosphorus availability. *Geoderma*. 2017;303:99–109.

50. Iordache M., Tudor C., Brei L. Earthworms diversity (Oligochaeta: Lumbricidae) and casting chemical composition in an urban park from Western Romania. *Polish Journal of Environmental Studies*. 2021;30(1):645–654.
51. Sharpley A.N. Effect of soil pH on cation and anion solubility. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 1991;22(9):827–841.
52. Luo A.X., Wang M., Hu G., Weng B. Seasonal Change of Microbial Diversity and Its Relation with Soil Chemical Properties in Orchard. *PLoS ONE*. 2019;14:e0215556.
53. Aira M., Monroy F., Domínguez J. Effects of two species of earthworms (*Allolobophora* spp.) on soil systems: A microfaunal and biochemical analysis. *Pedobiologia*. 2003;47(5):877–881.
54. Chapuis-Lardy L., Brauman A., Bernard L. [et al.]. Effect of the endogeic earthworm *Pontoscolex corethrurus* on the microbial structure and activity related to CO₂ and N₂O fluxes from a tropical soil (Madagascar). *Applied Soil Ecology*. 2010;45(3):201–208.
55. Kostina N.V., Bogdanova T.V., Umarov M.M. Biological activity of the coprolites of earthworms. *Moscow University Soil Science Bulletin*. 2011;66(1):18–23.