



DOI 10.23859/estr-240203

EDN PXEOWI

УДК 592:631. 42:502.4

*Научная статья*

## **Почвенная мезофауна сосновых лесов Волжско-Камского заповедника**

Р.А. Суходольская<sup>1, 2</sup> , Т.А. Гордиенко<sup>1\*</sup> ,

Д.Н. Вавилов<sup>2</sup> , Р.Р. Шагидуллин<sup>1</sup> , О.В. Бакин<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Институт проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан, 420087, Россия, г. Казань, ул. Даурская, д. 28*

<sup>2</sup> *Казанский (Приволжский) федеральный университет, 420008, Россия, г. Казань, ул. Кремлевская, д. 18*

<sup>3</sup> *Волжско-Камский государственный природный биосферный заповедник, 422537, Россия, Республика Татарстан, Зеленодольский р-н, пос. Садовый, ул. Вехова, д. 1*

\*eiseniata@gmail.com

**Аннотация.** В работе приведены результаты исследований почвенной мезофауны сосняков Саралинского и Раифского участков Волжско-Камского заповедника, расположенных в разных ландшафтных зонах. Исследования выполнялись в 2012–2022 гг., в течение двух–трех последовательных лет в каждом плоте дважды в сезон брали стандартные зоологические пробы. Общее количество проб составило 624, было зарегистрировано 2870 беспозвоночных. Таксономическая структура мезофауны обоих участков заповедника сходна и включает 24 и 21 крупный таксон в Саралинском и Раифском участках соответственно. В Раифском участке отсутствовали Isopoda, Dermatoptera и Silphidae. Численность мезофауны варьирует примерно в одинаковых пределах и составляет в среднем 74 экз./м<sup>2</sup>, что вдвое выше данных по региону в целом. Трофическая структура мезофауны в большей степени сходная, во всех сосняках преобладают хищники и в большинстве случаев сапрофаги; фитофагов меньше, но они также играют значимую роль в сообществе педобионтов. В то же время структура и население сообществ педобионтов статистически значимо отличается как в зональном аспекте, так и по месту положения сообщества в конкретном локалитете.

**Ключевые слова:** почвенные беспозвоночные, хвойные леса, обилие, таксономический состав, трофическая структура

### **ORCID:**

Р.А. Суходольская, <https://orcid.org/0000-0002-2717-9560>

Т.А. Гордиенко, <https://orcid.org/0000-0002-0717-4850>

Д.Н. Вавилов, <https://orcid.org/0000-0002-2651-7978>

Р.Р. Шагидуллин, <https://orcid.org/0000-0002-3321-0923>

**Для цитирования:** Суходольская, Р.А. и др., 2025. Почвенная мезофауна сосновых лесов Волжско-Камского заповедника. *Трансформация экосистем* 8 (2), 184–198. <https://doi.org/10.23859/estr-240203>

Поступила в редакцию: 03.02.2024

Принята к печати: 01.03.2024

Опубликована онлайн: 16.05.2025

---





DOI 10.23859/estr-240203

EDN PXEOWI

UDC 592:631. 42:502.4

## Article

# Soil mesofauna in pine forests of the Volga-Kama Reserve

R.A. Sukhodolskaya<sup>1, 2</sup> , T.A. Gordienko<sup>1\*</sup> ,  
D.N. Vavilov<sup>2</sup> , R.R. Shagidullin<sup>1</sup> , O.V. Bakin<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Institute of Ecology and Subsoil Use Problems, Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Daur'skaya St. 28, Kazan, 420087 Russia

<sup>2</sup> Kazan Federal University, Kremlevskaya St. 18, Kazan, 420008 Russia

<sup>3</sup> Volga-Kama State Natural Biosphere Reserve, Vekhov St. 1, Sadovy settlement, Zelenodolsky District, 422537 Russia

\*eiseniata@gmail.com

---

**Abstract.** The results of studies in soil mesofauna at pine forests of Saraly and Raifa sectors of Volga-Kama Reserve are presented in paper. These sectors are located in different landscape zones. The research was conducted in pine forests of the Volga-Kama Natural Biosphere Reserve in 2012–2022. Standard soil-zoological samples were taken in each plot twice a season during three consecutive years. A total of 624 samples were taken and 2870 invertebrates were counted. The taxonomic structure of the mesofauna of both sectors of the Reserve was similar and included 23 and 21 large taxa, in Saraly and Raifa sectors, respectively. Isopodes, Dermaptera and Silphidae were absent in the Raifa sector. The abundance of mesofauna varied approximately within the same limits and averaged 74 specimens per square meter, that was twice as high as the data for the region as a whole. The trophic structure of mesofauna was mostly similar, in all pine forests predators and in most cases saprophages predominated, less phytophages, but they also played the significant role in the pedobiont community. The structure of pedobiont communities differed significantly both in zonal aspect and by the location of the community in a particular.

**Keywords:** soil invertebrates, pine forests, abundance, taxonomic composition, trophic structure

### ORCID:

R.A. Sukhodolskaya, <https://orcid.org/0000-0002-2717-9560>

T.A. Gordienko, <https://orcid.org/0000-0002-0717-4850>

D.N. Vavilov, <https://orcid.org/0000-0002-2651-7978>

R.R. Shagidullin, <https://orcid.org/0000-0002-3321-0923>

**To cite this article:** Sukhodolskaya, R.A. et al., 2025. Soil mesofauna in pine forests of the Volga-Kama Reserve. *Ecosystem Transformation* 8 (2), 184–198. <https://doi.org/10.23859/estr-240203>

Received: 03.02.2024

Accepted: 01.03.2024

Published online: 16.05.2025

## Введение

Определение потенциального распределения почвенного биоразнообразия с учетом его плотности и богатства является необходимым условием для оценки, сохранения и защиты биоразнообразия и функций почвы, которые оно определяет (Salako et al., 2023). Основная часть биоразнообразия наземных экосистем представлена почвенной фауной (FAO et al., 2020). Более того, большинство экосистемных услуг, предоставляемых наземными средами обитания, основаны на функциях почвы (Adhikari and Hartemink, 2015); при этом практически все функции почвы возникают в результате процессов, вызываемых почвенными организмами.

Почвенная фауна играет решающую роль в педогенезе и функционировании почвы, в том числе химических и физических процессов, создавая условия для обеспечения важнейших экосистемных функций: круговорота питательных веществ, производства биомассы, регулирования численности беспозвоночных (Brussaard et al., 1997; de Vries et al., 2013). Почвенные животные особенно многочисленны и составляют около 25% всех видов животных на Земле (Decaëns et al., 2006). Существует несколько классификаций почвенных животных, основанных на понимании их экологического значения для почв (Hedde et al., 2022). Настоящее исследование, обобщившее результаты мониторинга почвенной мезофауны хвойных лесов Волжско-Камского государственного природного биосферного заповедника, охватывает следующие группы почвенных беспозвоночных: дождевые черви – обитатели подстилки и почвы, перерабатывающие опад и пропускающие почву через организм, участвующие в процессе гумификации, обогащающие почву микроэлементами, полезной микрофлорой; хищные многоножки костьянки и землянки, являющиеся консументами 2-го и далее порядка и регулирующие численность беспозвоночных; сапрофильные кивсяки и мокрицы, участвующие в минерализации отмершей растительной органики; растительноядные моллюски – слизи; личинки жуков фитофагов – щелкунов (проволочники), долгоносиков, хрущей, являющиеся консументами 1-го порядка.

Почвенные экосистемы в сосняках на заповедных территориях являются одними из наиболее ценных объектов охраны, и текущая оценка их состояния – важная научно-техническая задача заповедников Российской Федерации (Емец, 2014). Диагностика состояния почвенных экосистем принадлежит к числу сложных и недостаточно разработанных научно-технических проблем, и индикация состояния почвенных экосистем с помощью различных групп беспозвоночных является одним из наиболее перспективных направлений.

Сохранение биологического разнообразия лесов и поддержание их устойчивости невозможно без глубокого знания особенностей их функционирования и является приоритетным направлением исследований экологов в России и за рубежом (Конакова и Колесникова, 2011; Trube et al., 2010). Целостность и функционирование почвенной мезофауны способствуют устойчивому развитию этих биоценозов. Особую важность данная задача приобретает на особо охраняемых природных территориях.

Сведения о беспозвоночных Волжско-Камского государственного природного биосферного заповедника (ВКЗ) и близлежащей территории известны уже с XIX в. по первым изысканиям Э. Эверсманна, К.Э. Линдемана, М.Д. Рузского; в начале XX в. данные были уточнены и дополнены Г.Г. Якобсоном, Н.Ф. Майером (Ахметзянова и др., 2002). С организацией заповедника в 1960 г.<sup>1</sup> усилиями его сотрудников количество исследований возросло. Они в основном касались сборов отдельных групп насекомых. Фауна и население почвенной мезофауны Волжско-Камского заповедника, особенно его лесостепного Саралинского участка, изучены слабо и носят фрагментарный характер. Предварительные результаты этих исследований опубликованы ранее в материалах конференций (Гордиенко и др., 2013; 2016а,б).

<sup>1</sup> Заметки по истории заповедника. Интернет-ресурс. URL: <https://vkgz.ru/ru/zametki-po-istorii-zapovednika> (дата обращения: 30.01.2024).

Цель настоящей работы заключалась в проведении инвентаризации педобионтов и выявления влияния зональности и локалитета на формирование их сообществ в хвойных биотопах Волжско-Камского заповедника.

## Материал и методы

Исследования проводили в Волжско-Камском государственном природном биосферном заповеднике. Территория заповедника представлена двумя участками: Раифский участок расположен в подтаежной подзоне бореальной ландшафтной зоны, Саралинский – в широколиственно-лесной подзоне суббореальной северной семигумидной ландшафтной зоны (Ермолаев и др., 2007). Сбор полевого материала проводили с 2012 по 2022 гг.

Учеты численности почвенной мезофауны вели в сосновых биотопах 4 кварталов Саралинского участка и 8 кварталов Раифского (Табл. 1). Педобионтов учитывали стандартным почвенно-зоологическим методом – почвенными площадками  $25 \times 25$  см<sup>2</sup> и глубиной 15–20 см, в слое наибольшей встречаемости животных (Бызова и др., 1987). Почвенные пробы на месте разбирали вручную. Всего было взято 624 пробы, учтено 2870 беспозвоночных. Пробы отбирали два раза за сезон в каждом биотопе в течение одного года в каждом из кварталов Раифского участка и трех последовательных лет – в кварталах Саралинского участка.

Статистическую обработку данных проводили в программах Excel 2007 (12.0), Statistica 8. Проведен многомерный дискриминантный анализ данных с зависимыми переменными «зональность» и «локалитет».

## Результаты и обсуждение

Таксономический состав сообществ почвенной мезофауны сосняков Раифского участка представлен 3 типами – Annelida, Mollusca и Arthropoda, 6 классами – Clitellata, Gastropoda, Arachnida, Chilopoda, Diplopoda, Insecta, 14 отрядами – Haplotaxida, Pulmonata, Araneae, Opiliones, Geophilomorpha, Lithobiomorpha, Julida, Blattodea, Hemiptera, Neuroptera, Coleoptera, Lepidoptera, Hymenoptera, Diptera (всего 21 таксономическая группа, по 11–16 в каждой точке сбора) (Табл. 2). Преобладали насекомые, хищные многоножки сем. Lithobiidae, двупарноногие многоножки отряда Julida, дождевые черви сем. Lumbricidae и паукообразные сем. Arachnidae. Среди насекомых многочисленны жуки, в особенности щелкуны (Elateridae) и стафилины (Staphylinidae).

Обилие педобионтов в Раифском участке заповедника варьирует в пределах 37–104 экз./м<sup>2</sup>, в среднем 75.2 экз./м<sup>2</sup>. В квартале 25 были обследованы два участка, отличающиеся освещенностью, травяным покровом и плотностью древостоя; в более освещенном и прогреваемом участке леса этого квартала численность почвенной мезофауны в 2.8 раза выше (Табл. 2).

В Саралинском участке отмечены 3 типа – Annelida, Mollusca и Arthropoda, 7 классов – Clitellata, Gastropoda, Isopoda, Arachnida, Chilopoda, Diplopoda, Insecta, 16 отрядов – Haplotaxida, Pulmonata, Araneae, Geophilomorpha, Lithobiomorpha, Julida, Polydesmida, Polyzoniida, Blattodea, Dermaptera, Hemiptera, Neuroptera, Coleoptera, Lepidoptera, Hymenoptera, Diptera (всего 24 таксономические группы, по 12–22 в каждой точке сбора) (Табл. 3). Здесь также доминировали насекомые Insecta, хищные подстилочные многоножки сем. Lithobiidae, паукообразные сем. Arachnidae и дождевые черви сем. Lumbricidae. Среди насекомых многочисленны жуки-щелкуны (Elateridae), долгоносики (Curculionidae), а также двукрылые. 21 таксономическая группа была общей для Саралинского и Раифского участков.

Обилие почвенной мезофауны в Саралинском участке заповедника сходно с таковым в Раифском (Табл. 3), варьировало в одинаковых пределах 33.8–102.8 экз./м<sup>2</sup> (среднее значение 73.4 экз./м<sup>2</sup>). Общее обилие педобионтов в исследованных кварталах заповедника представлено на Рис. 1. Значения его превышают средние показатели численности педобионтов в сосняках по Республике Татарстан (Кадастр..., 2014).

Результаты оценки трофической структуры представлены на Рис. 2. Соотношение трофических групп в сосняках Раифского участка заповедника варьировало, в большинстве случаев (кв. 162, 156, 63, 47, 25-1, 58) преобладали сапрофаги (30.5–56.3%) и хищники (25.2–52.5%), кроме двух кварталов (кв. 25-2 и 154), где они уступили фитофагам (45.9–64.6%). Хищная группа беспозвоночных мезофауны многочисленна во всех исследованных кварталах (20.7–52.7%). В среднем доля сапрофагов и хищников в этом участке заповедника одинакова (36.8% и 37.4% соответственно), фитофагов несколько меньше (21.4%). Преобладание хищников в сообществе педобионтов мезофауны характерно для сосновых лесов (Кадастр..., 2014).

Табл. 1. Описание модельных участков Волжско-Камского заповедника.

№	Участок, квартал	Год исследования	Обозначение в тексте	Координаты	Растительная ассоциация
1	Раифа, кв. 154	2012	154	N 55.937123 E 48.862850	Сосняк орляковый
2	Раифа, кв. 63	2014	63	N 55.889277 E 48.727539	Сосняк зеленомошно-разнотравный
3	Саралы, кв. 24	2014–2016	24	N 55.312076 E 49.247264	Сосняк кленово-остролистный
4	Саралы, кв. 42	2014–2016	42	N 55.289442 E 49.246432	Сосняк лишайниково-разнотравно-зеленомошный
5	Раифа, кв. 47	2015	47	N 55.890454 E 48.711775	Сосняк чернично-мшисто-разнотравный
6	Раифа, кв. 25	2016	25-1	N 55.9099 E 48.7328	Сосняк орляково-чернично-разнотравный
7	Раифа, кв. 58	2017	58	N 55.889291 E 48.686413	Сосняк бруснично-костянично-мшисто-разнотравный
8	Саралы, кв. 32	2017–2019	32	N 55.304379 E 49.239163	Сосняк лишайниково-вейниково-разнотравный
9	Саралы, кв. 46	2017–2019	46	N 55.287621 E 49.249408	Сосняк зеленомошно-лишайниковый
10	Раифа, кв. 162	2018	162	N 55.929016 E 48.865744	Сосняк орляково-ландышевый
11	Раифа, кв. 156	2018	156	N 55.9325 E 48.859444	Сосняк ландышево-орляковый
12	Раифа, кв. 25	2022	25-2	N 55.912222 E 48.740833	Сосняк кислично-разнотравный

В Саралинском участке заповедника результаты по трофическим группам сообщества педобионтов сходны с таковым и в Раифском участке. Здесь также доминировали хищники (20.8–48.4%), сапрофаги (13.4–52.5%) и немного меньше фитофаги (12.4–33.9%).

Многомерный анализ материала по зависимым переменным «локалитет» и «зональность» выявил следующее:

– все сосняки отличались друг от друга по структуре населения педобионтов (Wilks' Lambda: 0.26, approx.  $F(143.5100) = 6.01$ ,  $p < 0.0000$ ), кроме кв. 63 и 47, 25 и 162;

– в целом сообщества педобионтов двух участков заповедника также статистически значимо отличаются (Wilks' Lambda: 0.83964, approx.  $F(11.612) = 10.626$ ,  $p < 0.0000$ ).

При этом необходимо отметить, что при оценке вклада отдельных переменных в дискриминацию лямбда Вилкса (Wilks' – Lambda) как показатель когезивности выборок имеет гораздо меньшее значение в случае зависимой переменной «локалитет», чем с переменной «зональность» (Табл. 4, 5). Это говорит о том, что конкретные условия в каждом отдельном плоте исследований имеют большее влияние на формирование структуры почвенных ценозов, чем влияние ландшафтной зоны обитания.

Квадрат расстояния Махаланобиса (показатель различий в структуре сообществ) был невысок и колебался в пределах 1.17–7.06, что свидетельствует о незначительных отличиях структурной организации сообщества педобионтов. Наибольшие различия отмечены между 58 и 154 кварталами, расположенными на противоположных оконечностях заповедника (на юго-западе и северо-востоке соответственно). Не отличались по структуре мезофауны близкорасположенные сосняки 47 и 63 кварталов Раифского участка. Квадрат расстояния Махаланобиса между Раифским и Саралинским участками низкий и равен 0.79: он свидетельствует о небольших, но статистически значимых различиях в сообществах педобионтов сосняков двух участков, если рассматривать последние в целом.

Табл. 2. Численность мезофауны хвойных биотопов Раифского участка заповедника (экз. на м<sup>2</sup>).

Таксон	Квартал								Средняя	%
	25-1	25-2	47	58	63	154	156	162		
Geophilomorpha	0.5	6.5	1.5	4	5	1	0.5	1	2.5	3.3
Lithobiomorpha	19	4.5	13	17	14.5	3	10	14	11.9	15.8
Diplopoda	25	1	11	19	8.5	2	18	13	12.2	16.2
Insecta в целом	42	22	42.5	35.5	38.5	32	22	17	31.4	41.8
Blattodea	2	0.5	1.5	0.5	2	0.5	1.5	0	1.1	1.4
Hemiptera	3.5	0.5	6	1.5	2.5	0	1.5	1	2.1	2.7
Neuroptera	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1
Coleoptera в целом	30.5	17	31.5	28.5	22	28	14.5	12	23.0	30.6
Carabidae	5	0	4	11	1.5	1	3.5	1	3.4	4.5
Staphylinidae	8.5	1	4.5	7.5	5.5	0.5	1.5	4	4.1	5.5
Tenebrionidae	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0.1	0.1
Melolonthinae	2	2.5	3.5	1	0	15	1.5	0	3.2	4.2
Geotrupinae	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0.1	0.1
Cantharidae	0	0	0	0	0.5	0	0	0	0.1	0.1
Elateridae	13.5	7.5	17	6.5	13	5.5	7	7	9.6	12.8
Curculionidae	1.5	6	2.5	2.5	1.5	6	0	0	2.5	3.3
Hymenoptera	1	1.5	0	1.5	0.5	0	0	1	0.7	0.9
Diptera	3.5	1	2	2.5	10.5	3	2.5	2	3.4	4.5
Lepidoptera	1	1	0.5	0.5	1	0	0.5	1	0.7	0.9
Прочие	0	0.5	1	0.5	0	0.5	1.5	0	0.5	0.7
Araneae	12	2	6.5	9	2	3	1.5	10	5.8	7.6
Opiliones	0	0	0.5	1.5	0	0	0	1	0.4	0.5
Mollusca	0	0	0	0	0.5	0	0	0	0.1	0.1
Lumbricidae	4	1	23.5	18	23	0	15.5	3	11.0	14.6
<b>Всего</b>	<b>102.5</b>	<b>37</b>	<b>98.5</b>	<b>104</b>	<b>92</b>	<b>41</b>	<b>67.5</b>	<b>59</b>	<b>75.2</b>	<b>100.0</b>
Сапрофаги	34.5	3.5	38	40	44	5.5	38	18	27.7	36.8
Фитофаги	18	17	23.5	10.5	16	26.5	9.5	8	16.1	21.4
Хищники	45.5	14	30	50	29	8.5	17	31	28.1	37.4
Смешанная группа	4.5	2.5	7	3.5	3	0.5	3	2	3.3	4.3

Табл. 3. Численность мезофауны хвойных биотопов Саралинского участка заповедника (экз. на м<sup>2</sup>).

Таксон	Квартал				Средняя	%
	24	32	42	46		
Isopoda	0.1	0.0	0.0	0.0	0.05	0.0
Geophilomorpha	9.4	0.0	0.0	0.0	2.4	3.2
Lithobiomorpha	14.6	5.8	21.0	10.0	12.8	17.5
Diplopoda	7.9	0.0	10.2	2.4	5.1	7.0
Insecta в целом	22.1	17.3	49.4	57.5	36.6	49.8
Dermaptera	0.6	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2
Blattodea	1.1	0.0	0.0	0.0	0.3	0.4
Hemiptera	2.4	0.5	3.0	0.4	1.6	2.2
Neuroptera	0.3	0.2	0.4	0.2	0.3	0.4
Coleoptera в целом	14.0	11.5	30.2	18.5	18.6	25.3
Carabidae	2.6	0.0	2.2	1.3	1.5	2.1
Silphidae	0.1	0.0	0.0	0.0	0.05	0.0
Staphylinidae	2.0	0.4	0.4	0.2	0.7	1.0
Tenebrionidae	0.0	0.5	4.8	3.6	2.2	3.1
Melolonthinae	0.4	0.4	2.4	0.0	0.8	1.1
Geotrupinae	0.1	0.0	0.0	0.0	0.05	0.0
Cantharidae	0.1	0.0	0.0	0.0	0.05	0.0
Elateridae	7.1	2.2	14.0	4.4	6.9	9.4
Curculionidae	1.4	8.0	6.4	9.1	6.2	8.5
Hymenoptera	0.1	0.0	0.0	0.2	0.1	0.1
Diptera	2.6	3.8	10.8	35.8	13.3	18.0
Lepidoptera	0.4	0.4	0.2	0.2	0.3	0.4
Прочие	0.6	0.9	4.8	2.2	2.1	2.9
Araneae	8.4	10.0	11.6	4.0	8.5	11.6
Mollusca	0.1	0.0	0.2	0.0	0.1	0.1
Lumbricidae	19.3	0.7	10.4	1.3	7.9	10.8
<b>Всего</b>	<b>82.0</b>	<b>33.8</b>	<b>102.8</b>	<b>75.1</b>	<b>73.4</b>	<b>100.0</b>
Сапрофаги	31.3	4.5	31.4	39.5	26.7	36.3
Фитофаги	10.1	11.5	28.0	17.3	16.7	22.8
Хищники	37.4	16.4	35.6	15.6	26.3	35.8
Смешанная группа	3.1	1.5	7.8	2.7	3.8	5.1

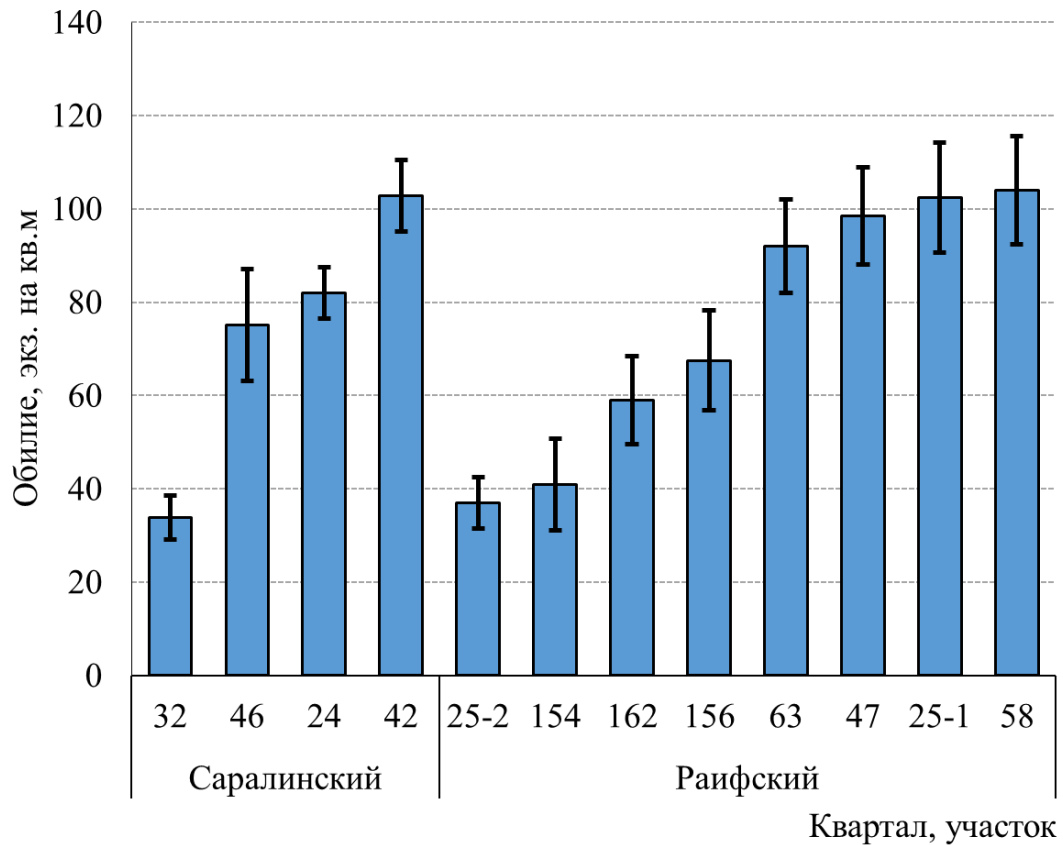


Рис. 1. Общее обилие мезофауны в хвойных биотопах Раифского и Саралинского участков заповедника.

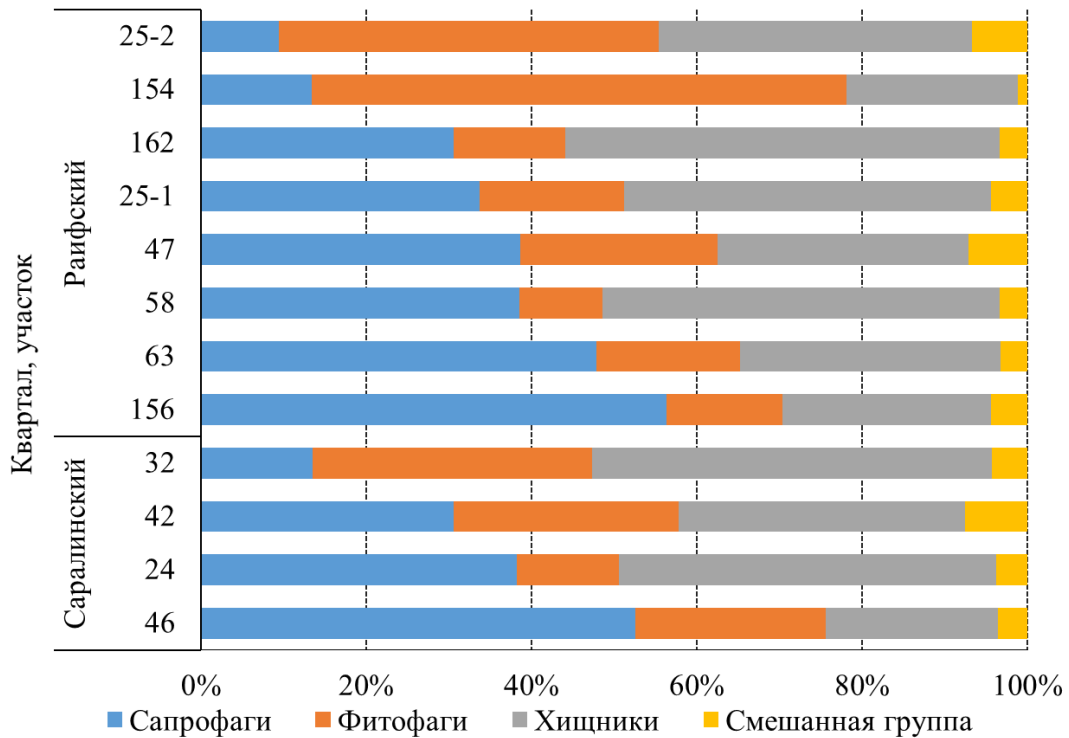


Рис. 2. Соотношение трофических групп в сообществах мезофауны Раифского и Саралинского участков заповедника.

При планировании нашей работы мы предполагали, что структура и население педобионтов мезофауны сосняков обоих участков различаются, поскольку они располагаются в разных ландшафтных зонах, однако структура населения педобионтов не должна сильно отличаться в разных исследуемых сосняках, поскольку это один тип биотопа. Наши предположения реализовались не полностью. Выяснилось, что зональность играет меньшую роль в пространственном распространении почвенных беспозвоночных сосновых биотопов, а локальные особенности их местообитания имеют решающее значение. Но совсем исключать зональность нельзя, она входит в комплекс факторов, оказывающих влияние на педобионтов хвойных лесов.

В этом отношении мы поддерживаем точку зрения ряда исследователей-почвенных зоологов о том, что почвенные животные реагируют на комплекс взаимодействующих факторов (температура слоев почвы, гидротермический коэффициент, pH, органический углерод и общий азот, задернованность, стадии сукцессии) (Ananina et al., 2023; Luzyanin et al., 2023). Поэтому условия конкретного места обитания (в нашем случае обозначенного как локалитет) играет решающую роль в определении специфики сообщества мезофауны.

По мнению некоторых исследователей, при продвижении с юга на север в пределах таежной зоны видовое разнообразие почвенных беспозвоночных уменьшается. К примеру, для Западной Сибири выявлено, что в направлении от южной тайги к северной проходит тренд снижения разнообразия почвенной мезофауны (Мордкович и др., 2014) и происходит обеднение почвенной фауны сосновых лесов по сравнению с ельниками (Стриганова и Порядина, 2005). Похожая тенденция наблюдалась и в наших исследованиях: в широколиственно-лесной подзоне (Саралинский участок) немного увеличивается разнообразие крупных таксонов по сравнению с подтаежной подзоной (Раифский участок заповедника). Однако, по другим данным, к северу численность педобионтов возрастает: например, в таежных лесах Центральной Сибири уровень численности почвенных беспозвоночных достигает 200–400 экз./м<sup>2</sup> (Рыбалов, 2002; Рыбалов и Воробьева, 2002); сходные результаты получены в бореальных лесах европейского северо-востока России (Колесникова и Конакова, 2019). Указанные значения значительно выше зарегистрированных в нашей работе показателей обилия педобионтов.

**Табл. 4.** Вклад отдельных таксонов в дискриминацию с зависимой переменной «локалитет».

	Wilks' – Lambda	Partial – Lambda	F-remove – 11.600	p-level	Tolerance	1–Tolerance (R-Square)
Lumbricidae	0.32	0.82	11.6	0.000	0.96	0.04
Diplopoda	0.3	0.9	6.3	0.000	0.88	0.12
Geophilomorpha	0.32	0.83	11.1	0.000	0.97	0.03
Melolonthinae	0.3	0.9	6.2	0.000	0.21	0.79
Insecta	0.29	0.93	4.4	0.000	0.66	0.34
Carabidae	0.29	0.92	4.8	0.000	0.36	0.64
Elateridae	0.29	0.92	4.5	0.000	0.14	0.86
Staphylinidae	0.3	0.89	6.9	0.000	0.33	0.67
Araneae	0.28	0.95	2.8	0.002	0.97	0.03
Lithobiomorpha	0.28	0.95	2.8	0.002	0.94	0.06
Hemiptera	0.28	0.96	2.4	0.006	0.96	0.04
Coleoptera	0.29	0.93	4.2	0.000	0.04	0.96
Curculionidae	0.29	0.94	3.8	0.000	0.1	0.9

Табл. 5. Вклад отдельных таксонов в дискриминацию с зависимой переменной «зональность».

	Wilks' – Lambda	Partial – Lambda	F-remove – 1.612	p-level	Tolerance	1–Tolerance (R-Square)
Staphylinidae	0.88	0.95	32.9	0.000	0.33	0.67
Diplopoda	0.86	0.97	16.5	0.000	0.82	0.18
Araneae	0.85	0.99	8.4	0.004	0.96	0.04
Melolonthinae	0.88	0.95	29.4	0.000	0.2	0.8
Insecta	0.85	0.99	5.7	0.017	0.66	0.34
Elateridae	0.87	0.96	24	0.000	0.13	0.87
Carabidae	0.86	0.97	18.5	0.000	0.34	0.66
Coleoptera	0.86	0.97	16	0.000	0.03	0.97
Curculionidae	0.85	0.98	10.6	0.001	0.1	0.9
Lithobiomorpha	0.84	1	2.6	0.10	0.9	0.1
Geophilomorpha	0.84	1	2.4	0.12	0.97	0.03

Согласно литературным данным, обилие педобионтов в лесах сильно варьирует в зависимости от влажности, типа почвы и ее кислотности, подлеска (растительного опада), травостоя, зональности. Бедность группового и видового разнообразия сосновых боров объясняется низким плодородием почв под этими растительными формациями (Кадастр..., 2014). В таежных лесах Коми численность и видовое разнообразие беспозвоночных определяются в первую очередь характером растительного опада и типом почвы (Конакова и Колесникова, 2011). Разнообразный видовой состав и высокая плотность почвообитающих беспозвоночных влажных сосняков (сложного и припойменного бора) по сравнению с сухими сосняками обусловлены более высокой влажностью почвы, наличием мощной подстилки с большим количеством разнообразного по видовому составу листовного опада (Нагуманова, 2005).

Наши результаты показали, что обилие педобионтов в ВКЗ ниже по сравнению с сообществами сосняков на севере России. Причина этого, вероятно, в том, что сосняки Предуралья и Западной Сибири находятся в зоне более высокого увлажнения, которое играет большую роль в поддержании численности почвенной мезофауны.

Важно также учесть и временной аспект. Согласно исследованиям М.М. Алейниковой и др. (1964, 1972), численность педобионтов мезофауны в сосновых лесах Раифского участка ВКЗ составляла 25 экз./м<sup>2</sup>. Таким образом, по сравнению с данными более чем полувековой давности обилие мезофауны в исследованных нами участках заповедника значительно возросло. На наш взгляд, это мало связано с охранными мероприятиями, осуществляемыми в заповеднике, поскольку почвенная фауна достаточно устойчива к внешним воздействиям. Положительные сдвиги в численности педобионтов заповедника скорее связаны с сукцессионными процессами. При антропогенном же воздействии флуктуации численности мезофауны связаны с изменениями в составе травяного яруса, который под воздействием рекреации приобретает множество сорных и луговых видов растений, привлекая различных растительноядных насекомых. Так, сообщества мезофауны сосновых боровоохраняемых природных территорий по своему обилию были сравнимы с сообществами пригородной зоны г. Казани и обнаруживали относительно высокую плотность почвенных беспозвоночных (25–130 экз./м<sup>2</sup>) (Гордиенко и Сабанцев, 2012; Гордиенко и Суходольская, 2011; Сабанцев и Гордиенко, 2014). При этом сообщества в сосняках в черте города характеризовались повышенным содержанием беспозвоночных животных в почве (91–161 экз./м<sup>2</sup>); таким образом, тесной зависимости обилия педобионтов от степени антропогенной нагрузки не наблюдалось.

## Выводы

1. Обилие педобионтов двух участков сходно и достаточно высоко для Республики Татарстан, соответствует показателям Воронежского заповедника и вдвое выше средних значений по Республике Татарстан. Таксономический состав достаточно разнообразен и при этом сходен: 21 таксон в Раифском и 24 таксона в Саралинском участках.

2. Трофическая структура также практически одинакова. В большинстве биотопов как Саралинского, так и Раифского участков заповедника преобладают хищники и сапрофаги; фитофиги несколько уступают им.

3. Многомерный анализ данных мезофауны показал статистически значимые различия структуры сообщества почвенных беспозвоночных как в зональном, так и локальном аспекте.

4. Выдвинутая в статье гипотеза о большем влиянии зональности на структуру сообществ мезофауны частично подтвердилась: структура сообществ педобионтов сосняков определяется комплексом условий, складывающихся в каждом конкретном местообитании, в том числе и зональностью.

## Список литературы

- Алейникова, М.М., 1964. Почвенная фауна различных ландшафтов Среднего Поволжья. Москва, Наука, СССР, 51 с.
- Алейникова, М.М., 1972. Почвенная фауна лесов Волжско-Камского заповедника (Раифа). *Труды Волжско-Камского заповедника* 2, 133–145.
- Ахметзянова, Н.Ш., Гринько, Р.А., Жеребцов, А.К., Капитов, В.Д., Шафигуллина, С.М., Шулаев, Н.В., 2002. К истории энтомологических исследований в Волжско-Камском государственном заповеднике и сопредельных территориях. *Материалы II республиканской научно-практической конференции «Роль особо охраняемых природных территорий в сохранении биоразнообразия и социальном развитии регионов»*, Ч. 2-3. Казань, Россия, 147–148.
- Бызова, Ю.Б., Гиляров, М.С., Дунгер, В., Захаров, А.А., Козловская, Л.С. и др., 1987. Количественные методы в почвенной зоологии. Наука, Москва, СССР, 288 с.
- Гордиенко, Т.А., Сабанцев, Д.Н., 2012. Население почвообитающих беспозвоночных в градиенте антропогенного воздействия. *Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием «Животные: экология, биология и охрана»*. Саранск, Россия, 96–98.
- Гордиенко, Т.А., Сабанцев, Д.Н., Хабибуллина, Н.Р., 2013. Структура населения почвенной мезофауны Раифского участка Волжско-Камского государственного природного биосферного заповедника. *Материалы III Всероссийской с международным участием научно-практической конференции «Охрана природной среды и эколого-биологическое образование»*. Елабуга, Россия, 126–128.
- Гордиенко, Т.А., Суходольская, Р.А., Вавилов, Д.Н., 2016а. Почвообитающие беспозвоночные мезофауны Волжско-Камского государственного заповедника. *Вестник Оренбургского государственного педагогического университета* 2 (18), 1–9.
- Гордиенко, Т.А., Суходольская, Р.А., Вавилов, Д.Н., 2016b. Биоразнообразие и структура сообществ почвенной мезофауны Волжско-Камского заповедника. *Труды Волжско-Камского государственного заповедника* 7, 213–229.
- Гордиенко, Т.А., Суходольская, Р.А., 2011. Почвенная биота как индикатор состояния пригородных лесов. *Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 85-летию Восточно-европейской лесной опытной станции «Лесное хозяйство России: состояние, проблемы, перспективы инновационного развития»*. Казань, Россия, 44–50.
- Емец, В.М., 2014. Эпигеобионтная мезофауна как биоиндикатор состояния почвенных экосистем в сосняках Воронежского заповедника. *Вестник ТГУ* 19 (5), 1276–1279.

- Ермолаев, О.П., Игонин, М.Е., Бубнов, А.Ю., Павлова, С.В., 2007. Ландшафты Республики Татарстан: региональный ландшафтно-экологический анализ. Слово, Казань, Россия, 411 с.
- Кадастр сообществ почвообитающих беспозвоночных (мезофауна) естественных экосистем Республики Татарстан, 2014. Издательство Казанского университета, Казань, Россия, 308 с.
- Колесникова, А.А., Конакова, Т.Н., 2019. Почвенная мезофауна бореальных лесов Европейского северо-востока России. *Евразийский энтомологический журнал* **18** (5), 312–319. <https://doi.org/10.15298/euroasentj.18.5.2>
- Конакова, Т.Н., Колесникова, А.А., 2011. Формирование и распределение почвенной мезофауны по градиенту влажности в сосновых лесах Республики Коми. *Известия Самарского научного центра РАН* **13** (1), 1001–1004.
- Мордкович, В.Г., Любечанский, И.И., Березина, О.Г., Марченко, И.И., Андриевский, В.С., 2014. Зооэдафон северной тайги Западной Сибири. КМК, Москва, Россия, 168 с.
- Нагуманова, Н.Г., 2005. Почвенная мезофауна сосновых биогеоценозов Предуралья. *Вестник ОГПУ* **2** (40), 13–23.
- Рыбалов, Л.Б., 2002. Зонально-ландшафтная смена почвенной биоты в Средней Сибири и роль температурных адаптаций при меридиональном (зональном) распределении беспозвоночных. *Русский энтомологический журнал* **11** (1), 35–37.
- Рыбалов, Л.Б., Воробьева, И.Г., 2002. Население почвенных беспозвоночных в таежных экосистемах среднего течения р. Енисей. В: Е.Е. Сыроечковский, Э.В. Рогачева (ред.), *Изучение биологического разнообразия на Енисейском экологическом трансекте. Животный мир*. РАСХН, Москва, Россия, 8–42.
- Сабанцев, Д.Н., Гордиенко, Т.А., 2014. Особенности трофической структуры мезофауны почв сосновых лесов в градиенте антропогенного воздействия. *Материалы II Всероссийской научной Интернет-конференции с международным участием «Биоразнообразие наземных и водных животных. Зооресурсы»*. Казань, Россия, 74–77.
- Стриганова, Б.Р., Порядина, Н.М., 2005. Население почвенных животных бореальных лесов Западно-Сибирской равнины. КМК, Москва, Россия, 234 с.
- Adhikari, K., Hartemink, A.E., 2015. Linking soils to ecosystem services: a global review. *Geoderma* **262**, 101–111.
- Ananina, T.L., Saveliev, A.A., Shagidullun, R.R., Gordienko, T.A., Sukhodolskaya, R.A., 2023. Climatic factors can differently affect body size in closely related species (the case study in ground beetles). *Российский журнал прикладной экологии* **3**, 4–11.
- Brussaard, L., Behan-Pelletier, V.M., Bignell, D.E., Brown, V.K., Didden, W.A.M. et al., 1997. Biodiversity and ecosystem functioning in soil. *Ambio* **26**, 563–570.
- De Vries, F.T., Thébault, E., Liiri, M., Birkhofer, K., Tsiafouli, M.A. et al., 2013. Soil food web properties explain ecosystem services across european land use systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **110** (35), 14296–14301. <https://doi.org/10.1073/pnas.1305198110>
- Decaëns, T., Jiménez, J.J., Gioia, C., Measey, G.J., Lavelle, P., 2006. The values of soil animals for conservation biology. *European Journal of Soil Biology* **42**, 23–38.

FAO, ITPS, GSBI, SCBD and EC, 2020. *State of knowledge of soil biodiversity – Status, challenges and potentialities. Report*. FAO, Rome, Italy, 618 p. <https://doi.org/10.4060/cb1928en>

Hedde, M.O., Blight, M.J.I., Briones, J., Bonfanti, A., Brauman, M. et al., 2022. A common framework for developing robust soil fauna classifications. *Geoderma* **426**, 116073.

Luzyanin, S.L., Saveliev, A.A., Shagidullin, R.R., Sukhodolskaya, R.A., 2023. Dynamics of ground beetle (Carabidae) populations at rock dumps in an open-pit coal mine: modeling the influence of environmental factors. *Acta Biologica Sibirica* **9**, 709–727. <https://doi.org/10.5281/zenodo.8404574>

Salako, G., Russell, D.J., Stucke, A., Eberhardt, E., 2023. Assessment of multiple model algorithms to predict earthworm geographic distribution range and biodiversity in Germany: implications for soil-monitoring and species-conservation needs. *Biodiversity and Conservation* **32** (7), 2365–2394. <https://doi.org/10.1007/s10531-023-02608-9>

Trube, A., De Toni, A., Benito, P., Lavelle, P., Lavelle, P. et al., 2010. Soil biodiversity: functions, threats and tools for policy makers. Report for European Commission (DG Environment). Bio Intelligence Service – IRD – NIOO, 250 p.

## References

Adhikari, K., Hartemink, A.E., 2015. Linking soils to ecosystem services: a global review. *Geoderma* **262**, 101–111.

Aleinikova, M.M., 1964. Pochvennaya fauna razlichnykh landshaftov Srednego Povolzh'ya [Soil faunas of different landscapes in the Middle Volga region]. Nauka, Moscow, USSR, 51 p. (In Russian).

Aleinikova, M.M., 1972. Pochvennaya fauna lesov Volzhsko-Kamskogo zapovednika (Raifa) [Soil fauna in the forests of Volga-Kama Reserve (Raifa)]. *Trudy Volzhsko-Kamskogo zapovednika [Annals of Volga-Kama Reserve]* **2**, 133–145. (In Russian).

Akhmetzyanova, N.Sh., Grin'ko, R.A., Zherebtsov, A.K., Kapitov, V.D., Shafigullina, S.M., Shulaev, N.V., 2002. K istorii entomologicheskikh issledovaniy v Volzhsko-Kamskom gosudarstvennom zapovednike i sopredel'nykh territoriyakh [To the history of entomological studies in Volga-Kama Reserve and contiguous territories]. *Materialy II respublikanskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii "Rol' osobo okhranyaemykh prirodnykh territorii v sokhranении bioraznoobraziya i sotsial'nom razvitii regionov". Chast 2–3 [Materials of the II republic conference "The role of protected areas in biodiversity conservation and social development of regions". Part 2–3]*. Kazan', Russia, 147–148. (In Russian).

Ananina, T.L., Saveliev, A.A., Shagidullun, R.R., Gordienko, T.A., Sukhodolskaya, R.A., 2023. Climatic factors can differently affect body size in closely related species (the case study in ground beetles). *Rossiiskii zhurnal prikladnoi ekologii [Russian Journal of Applied Ecology]* **3**, 4–11.

Brussaard, L., Behan-Pelletier, V.M., Bignell, D.E., Brown, V.K., Didden, W.A.M. et al., 1997. Biodiversity and ecosystem functioning in soil. *Ambio* **26**, 563–570.

Byzova, Yu.B., Gilyarov, M.S., Dunger, V., Zaharov, A.A., Kozlovskaya, L.S. et al., 1987. Kolichestvennye metody v pochvennoi zoologii [Quantitative methods in soil zoology]. Nauka, Moscow, USSR, 288 p. (In Russian).

De Vries, F.T., Thébault, E., Liiri, M., Birkhofer, K., Tsiafouli, M.A. et al., 2013. Soil food web properties explain ecosystem services across european land use systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **110** (35), 14296–14301. <https://doi.org/10.1073/pnas.1305198110>

- Decaëns, T., Jiménez, J.J., Gioia, C., Measey, G.J., Lavelle, P., 2006. The values of soil animals for conservation biology. *European Journal of Soil Biology* **42**, 23–38.
- FAO, ITPS, GSBI, SCBD and EC, 2020. *State of knowledge of soil biodiversity – Status, challenges and potentialities. Report*. FAO, Rome, Italy, 618 p. <https://doi.org/10.4060/cb1928en>
- Gordienko, T.A., Sabantsev, D.N., 2012. Naselenie pochvoobitayushchikh bespozvonochnykh v gradiente antropogennogo vozdeistviya [Population of soil-dwelling invertebrates in the gradient of anthropogenic impact]. *Materialy vserossiiskoi nauchnoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem "Zhivotnye: ekologiya, biologiya i okhrana" [Proceedings of the All-Russian scientific conference with international participation "Animals: ecology, biology and conservation"]*. Saransk, Russia, 96–98. (In Russian).
- Gordienko, T.A., Sabantsev, D.N., Khabibullina N.R., 2013. Struktura naseleniya pochvennoi mezofauny Raifskogo uchastka Volzhsko-Kamskogo gosudarstvennogo prirodnogo biosfernogo zapovednika [Structure of soil mesofauna in Raifa section of Volga-Kama Reserve] *Materialy III vserossiiskoi s mezhdunarodnym uchastiem nauchno-prakticheskoi konferentsii "Okhrana prirodnoi sredy i ekologo-biologicheskoe obrazovanie" [Materials of the III All-Russia scientific-practical conference with international attendance "Conservation of nature environmental and ecological-biological education"]*. Elabuga, Russia, 126–128. (In Russian).
- Gordienko, T.A., Suhodol'skaya, R.A., Vavilov, D.N., 2016a. Pochvoobitayushchie bespozvonochnye mezofauny Volzhsko-Kamskogo gosudarstvennogo zapovednika [Soil dwelling mesofauna invertebrates of Volga-Kama Reserve] *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta [Newsletters of Orenburg State Pedagogical University]* **2** (18), 1–9. (In Russian).
- Gordienko, T.A., Sukhodol'skaya, R.A., Vavilov, D.N., 2016b. Bioraznoobrazie i struktura soobshchestv pochvennoi mezofauny Volzhsko-Kamskogo zapovednika [Biodiversity and communities structure in soil mesofauna of Volga-Kama Reserve] *Trudy Volzhsko-Kamskogo gosudarstvennogo zapovednika [Annals of Volga-Kama State Reserve]* **7**, 213–229. (In Russian).
- Gordienko, T.A., Sukhodol'skaya, R.A., 2011. Pochvennaya biota kak indikator sostoyaniya prigorodnykh lesov [Soil biota as the indicator of suburbs forests state]. *Materialy Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posvyashchennoi 85-letiyu Vostochno-evropeiskoi lesnoi opytnoi stantsii "Lesnoe khozyajstvo Rossii: sostoyanie, problemy, perspektivy innovatsionnogo razvitiya" [Materials of All-Russia scientific practical conference, devoted to the 85 anniversary of Eastern-Europe forest experimental station "Forest management in Russia: the state, problems, the perspectives of innovative development"]*. Kazan', Russia, 44–50. (In Russian).
- Hedde, M.O., Blight, M.J.I., Briones, J., Bonfanti, A., Brauman, M. et al., 2022. A common framework for developing robust soil fauna classifications. *Geoderma* **426**, 116073.
- Emets, V.M., 2014. Epigeobiontnaya mezofauna kak bioindikator sostoyaniya pochvennykh ekosistem v sosnyakh voronezhskogo zapovednika [Epygeobionts fauna as the indicator of soil ecosystems state in Voronezh Reserve pine forests] *Vestnik TGU [Newsletters of Tomsk State University]* **19** (5), 1276–1279. (In Russian).
- Ermolaev, O.P., Igonin, M.E., Bubnov, A.Yu., Pavlova, S.V., 2007. Landshafty Respubliki Tatarstan: regional'nyi landshaftno-ekologicheskii analiz [Landscapes of Tatarstan Republic: regional landscape-ecological analysis]. Slovo, Kazan', Russia, 411 p. (In Russian).
- Kadastr soobshchestv pochvoobitayushchikh bespozvonochnykh (mezofauna) estestvennykh ekosistem Respubliki Tatarstan [Cadastre of communities of soil-dwelling invertebrates (mesofauna) of natural ecosystems of the Republic of Tatarstan], 2014. Publishing House of the Kazan' University, Kazan', Russia, 308 p. (In Russian).

- Kolesnikova, A.A., Konakova, T.N., 2019. Pochvennaya mezofauna boreal'nykh lesov Evropeiskogo severo-vostoka Rossii [Soil mesofauna in boreal forests of European north-east of Russia]. *Evraziatskii entomologicheskii zhurnal [Eurasian Entomological Journal]* 18 (5), 312–319. (In Russian). <https://doi.org/10.15298/euroasentj.18.5.2>
- Konakova, T.N., Kolesnikova, A.A., 2011. Formirovanie i raspredelenie pochvennoi mezofauny po gradientu vlazhnosti v sosnovykh lesakh Respubliki Komi [Soil fauna formation and distribution in humidity gradient in pine forests of Komi Republic]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra RAN [Letters of Samara scientific centre of Russian Academy of Sciences]* 13 (1), 1001–1004. (In Russian).
- Luzyanin, S.L., Saveliev, A.A., Shagidullin, R.R., Sukhodolskaya, R.A., 2023. Dynamics of ground beetle (Carabidae) populations at rock dumps in an open-pit coal mine: modeling the influence of environmental factors. *Acta Biologica Sibirica* 9, 709–727. <https://doi.org/10.5281/zenodo.8404574>
- Mordkovich, V.G., Lyubchanskii, I.I., Berezina, O.G., Marchenko, I.I., Andrievskii, V.S., 2014. Zooedafon severnoj taigi Zapadnoi Sibiri [Zooedaphone of north taiga of West Siberia]. KMK, Moscow, Russia, 168 p. (In Russian).
- Nagumanova, N.G., 2005. Pochvennaya mezofauna sosnovykh biogeotsenozov Predural'ya [Soil mesofauna in pine biocenoses of Cis-Urals] *Vestnik OGPU [Newsletters of Orenburg State Pedagogical University]* 2 (40), 13–23. (In Russian).
- Rybalov, L.B. 2002. Zonal'no-landshaftnaya smena pochvennoi bioty v Srednei Sibiri i rol' temperaturnykh adaptatsii pri meridional'nom (zonal'nom) raspredelenii bespozvonochnykh [Zonal-landscape change in soil biota in Central Siberia and the role of temperature adaptations in meridian (zonal) distribution of invertebrates]. *Russkii entomologicheskii zhurnal [Russian Entomological Journal]* 11 (1), 35–37. (In Russian).
- Rybalov, L.B., Vorob'eva, I.G. 2002. Naselenie pochvennykh bespozvonochnykh v taezhnykh ekosistemakh srednego techeniya r. Enisei. In: Syroechkovskiy, E.E. Rogacheva, E.V. (eds.), *Izuchenie biologicheskogo raznoobraziya na Eniseiskom ekologicheskom transekte. Zhivotnyi mir [Soil invertebrates population in taiga ecosystems of Enisey river middle flow. Animal world]*. Russian Academy of Agricultural Sciences, Moscow, Russia, 8–42. (In Russian).
- Sabantsev, D.N., Gordienko, T.A., 2014. Osobennosti troficheskoi struktury mezofauny pochv sosnovykh lesov v gradient antropogennogo vozdeistviya [Trophic structure peculiarities of soil mesofauna in anthropogenic impact gradient]. *Materialy II Vserossiiskoi nauchnoi Internet-konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem "Bioraznoobrazie nazemnykh i vodnykh zhivotnykh. Zootsursy" [Materials of the II All-Russian Internet conference with international attendance "Biodiversity of terrestrial and aquatic animals"]*. Kazan', Russia, 74–77. (In Russian).
- Salako, G., Russell, D.J., Stucke, A., Eberhardt, E., 2023. Assessment of multiple model algorithms to predict earthworm geographic distribution range and biodiversity in Germany: implications for soil-monitoring and species-conservation needs. *Biodiversity and Conservation* 32 (7), 2365–2394. <https://doi.org/10.1007/s10531-023-02608-9>
- Striganova, B.R., Poryadina, N.M., 2005. Naselenie pochvennykh zhivotnykh boreal'nykh lesov Zapadno-Sibirskoi ravniny [Soil animals population in boreal forests of Western-Siberia plainland]. KMK, Moscow, Russia, 234 p. (In Russian).
- Trube, A., De Toni, A., Benito, P., Lavelle, P., Lavelle, P. et al., 2010. Soil biodiversity: functions, threats and tools for policy makers. Report for European Commission (DG Environment). Bio Intelligence Service – IRD – NIOO, 250 p.