

Влияние химического состава почвы и растительности на почвенную мезофауну в зоне воздействия предприятий по добыче калийных солей Среднего Прикамья

В. Е. ЕФИМИК, Н. В. МИТРАКОВА, Е. Г. ЕФИМИК, С. Л. ЕСЮНИН, Г. Ш. ФАРЗАЛИЕВА

*Пермский государственный национальный исследовательский университет
614068, Пермь, ул. Букирева, 15
E-mail: efimik.viktor@mail.ru*

Статья поступила 10.07.2023

После доработки 12.08.2023

Принята к печати 03.10.2023

АННОТАЦИЯ

Увеличение техногенного воздействия и необходимость сохранения биоразнообразия ставят перед нами задачу оценки фонового биоразнообразия в горнодобывающих районах. Целью работы является исследование состояния мезофауны беспозвоночных животных подстилки и верхнего почвенного слоя типичных биотопов средней и южной тайги. В Пермском крае данные исследования проводятся впервые. Характеристика растительности учетных площадок составлена на основе полевых геоботанических описаний, для сбора беспозвоночных использовался метод почвенных проб, свойства почв изучены традиционными методами. На 10 учетных площадках впервые оценены таксономическое разнообразие и структура населения почвенно-подстилочных беспозвоночных, описана растительность, проведен морфологический и физико-химический анализ почв, а также корреляционный анализ количественных показателей почвенной мезофауны с химическими свойствами почв исследуемых участков. Все обследованные биотопы имеют типичные для таежной зоны Урала флористический состав и фауну беспозвоночных подстилки и почвы. При этом выражена синантропизация растительности во всех изученных лесных и луговых фитоценозах. Состав, структура и обилие мезофауны беспозвоночных всех изученных биотопов зависят от типа фитоценоза, состава и толщины подстилки, степени увлажнения почвы и подстилки. Корреляционный анализ выявил взаимосвязь уровня кислотности почвы с количественными показателями Lymbricidae и Oniscidea. Изученные природные сообщества находятся под воздействием таких антропогенных факторов, как мелиорация, изменение состава и структуры почв при механических нарушениях при строительстве дорог и др.

Ключевые слова: почвенно-подстилочная мезофауна, болотные, луговые и лесные экосистемы, Среднее Прикамье.

ВВЕДЕНИЕ

Антропогенное воздействие на природные сообщества на современном этапе носит комплексный характер. Изменения, происходящие с растительностью и животным населением, в конечном итоге отражаются на почвенном покрове.

Почвенно-подстилочные беспозвоночные животные, имеющие огромную численность и биомассу [Rosenberg et al., 2023], играют важную роль в биологическом круговороте и обеспечении устойчивого функционирования почв и биогеоценозов в целом [Покаржевский и др., 2007; Shao et al., 2015; Fu et al.,



Рис. 1. Места отбора проб на территории Верхнекамского месторождения калийных солей.
1–10 – номера площадок, см. текст

2022]. Воздействие промышленных выбросов на почвенных беспозвоночных активно обсуждается [Bengtsson, Rundgren, 1984; Zvereva, Kozlov, 2010; Santorufo et al., 2012; Gurov et al., 2014; Zhang et al., 2022]. Исследования, проведенные в России, показали, что при загрязнении окружающей среды выбросами различных производств происходит изменение важнейших структурных параметров почвенного населения: численности, биомассы, таксономического разнообразия и соотношения трофических

групп [Воробейчик и др., 1994, 2012; Блинова, Редькина, 2005; Автаева, 2008; Танасевич и др., 2009; Демаков и др., 2013].

В меньшей степени обращается внимание на последствия засоления почв. Детально изучено влияние естественного засоления на почвенную фауну сухостепной зоны Центральной Азии [Брагина, 2004], в степях Южного Зауралья [Нагуманова, 2007] и Забайкалья [Хобракова и др., 2015]. В этих исследованиях показано, что при засолении почвы наблюдается значительное обеднение видового состава и сокращение численности беспозвоночных животных. Исследования последствий засоления почв в таежной зоне связаны с влиянием пластовых вод при нефтедобыче на растительную компоненту [Соромотин и др., 1996; Соловьева, Трофимов, 2008; Казанцева, Свиридзе, 2016]. Нам не известны публикации, посвященные комплексному изучению последствий засоления бореальных экосистем.

На территории Пермского края располагается одно из крупнейших месторождений калийных солей – Верхнекамское месторождение калийно-магниевых солей. Основной экологической проблемой добычи является техногенное засоление почв [Еремченко и др., 2020; Khayrulina et al., 2021] и водных объектов [Baklanov et al., 2019].

Целью данного исследования является комплексное изучение почв, растительности и почвенного населения типичных биотопов территории, где возможно проявление последствий эксплуатации Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей. В Пермском крае данные исследования проводятся впервые.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Верхнекамское месторождение калийных солей расположено в Пермском крае в левобережной части долины р. Камы. Площадь бассейна более 6,5 тыс. км². На территории бассейна расположены крупнейшие горнодобывающие предприятия Пермского края. Территория исследования представлена участками с разной степенью антропогенного воздействия.

Обследованы десять биотопов: два варианта болот (площадки (пл.) 1, 2), три варианта лесов (пл. 3–5) и пять вариантов лугов (пл. 6–10) (рис. 1). В соответствии с ботанико-

географическим районированием Пермского края [Овеснов, 2000] учетные площадки расположены в районе среднетаежных Камско-Печорско-Западноуральских пихтово-еловых лесов в подрайоне с преобладанием пихтово-еловых лесов (пл. 1–5) и в районе южно-таежных Камско-Печорско-Западноуральских пихтово-еловых лесов с преобладанием осиновых и березовых лесов на месте темнохвойных (пл. 6–10).

Полевой материал собран в июле – августе 2021 г. На 10 учетных площадках оценены таксономическое разнообразие и структура растительности, взяты пробы почвенно-подстилочного населения беспозвоночных, составлены описания почв с отбором проб для морфологического и физико-химического анализа.

Характеристика растительности учетных площадок составлена на основе полевых геоботанических описаний, проводимых на пробных площадях в обследуемых биотопах по общепринятым методикам [Методы..., 2002; Ипатов, Мирин, 2008]. Видовой состав растений определялся непосредственно на местности и в камеральных условиях по собранному гербарному материалу.

Для сбора мезофауны использовался метод почвенных проб [Гиляров, 1975]. На каждой учетной площадке было взято по 10 проб 25×25 см. Отдельно обследовались подстилочный и почвенный (0–20 см) слои. Отбор беспозвоночных проводился на месте. В камеральных условиях беспозвоночные животные определялись до отряда и/или семейства, подсчитывались и взвешивались. До вида идентифицированы модельные группы беспозвоночных животных – пауки, сенокосцы и многоножки.

Отбор проб почв проведен на каждом исследованном участке в двух горизонтах. В почвенных пробах определены следующие показатели: органическое вещество – методом мокрого сжигания по И. В. Тюрину [Теория..., 2006]; кислотность водная и солевая ($pH_{\text{вод}}$, $pH_{\text{сол}}$) – потенциометрическим методом; содержание подвижных соединений фосфора и калия – по методу А. Т. Кирсанова, основанному на экстракции подвижных соединений фосфора и калия раствором 0,2 моль/л соляной кислоты HCl по ГОСТ Р 54650-2011. Затем подвижные сое-

динения фосфора определяли в виде синего фосфорно-молибденового комплекса фотоэлектроколориметрическим методом, а калия – методом пламенной фотометрии. Количество и качество растворимых солей определяли в водной вытяжке: Na^+ и K^+ – методом пламенной фотометрии; Cl^- – титрованием с азотнокислым серебром; Ca^{2+} , Mg^{2+} – трилонометрическим методом по ГОСТ 26428-85; SO_4^{2-} – турбидиметрическим методом по ГОСТ 26426-85. Сумму токсичных солей рассчитывали методом по Н. И. Базилевич и Е. И. Панковой [1968].

Статистическая обработка данных проводилась алгоритмами программ MS Excel 2013. Корреляционный анализ (Пирсона) количественных показателей почвенной мезофауны с химическими свойствами почв реализован в программе Past 4.03 [Hammer et al., 2001]. В анализе использованы данные по химическому составу верхнего почвенного слоя, плотность и биомасса почвенных беспозвоночных на той же глубине.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Полученные результаты рационально рассмотреть по группам обследованных биоценозов.

Болота

На территории исследования широко распространены болота верхового типа, представляющие собой азональные растительные группировки с характерным флористическим комплексом. Обследованные верховые болота имеют естественное происхождение.

Верховое олиготрофное осоково-пушицево-сфагновое болото (пл. 1) удалено от населенных пунктов, антропогенная нагрузка невысокая. Доминантами мохового яруса являются виды рода *Sphagnum*. Из трав наиболее обильны представители семейства Cyperaceae (*Carex disperma* Dew. и *Eriophorum vaginatum* L.) и полукустарнички из семейства Ericaceae (*Vaccinium myrtillus* L., *Vaccinium uliginosum* L., *Oxycoccus palustris* Pers., *Andromeda polifolia* L., *Ledum palustre* L.). Древостой, представленный сосной обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), разреженный, с большим процентом сухостоя. Болото окружено вырубкой, зарастающей сосной обыкновенной, березами

повислой (*Betula pendula* Roth.) и пушистой (*Betula pubescens* Ehrh.), единично встречается ель сибирская (*Picea obovata* Ledeb.). Разнообразие сосудистых растений болота низкое, что характерно для всех олиготрофных верховых болот данного ботанико-географического района.

Верховое осоково-сфагновое осушаемое болото (пл. 2) прокопано дренажными канавами, вследствие чего идет его осушение и активное зарастание густым подростом из березы повислой и березы пушистой, хуже идет возобновление сосны обыкновенной, в канавах встречаются виды рода *Salix* L. Из мхов преобладают сфагнум и кукушкин лен (*Polytrichum commune* Hedw.). В травяно-кустарничковом ярусе более обильны осоковые (*Eriophorum vaginatum* L., *Carex disperma*, *Carex limosa* L.), реже встречаются *Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench, *Drosera rotundifolia* L., *Vaccinium uliginosum* L. и отдельные экземпляры *Dryopteris carthusiana* (Vill.) H. P. Fuchs. Разнообразие сосудистых растений данного болота чрезвычайно низко, что может быть связано с осушением и постепенным выпадением типичных болотных видов, при этом комплекс лесных видов еще не сформировался.

Почва осоково-пушицево-сфагново-торфяная, олиготрофная, глеевая, осушаемого болота – торфяная, олиготрофная. Торфяной горизонт болотных почв состоит из сфагнума разной степени разложения; почвы сильно кислые (рН_{вод} 3,5–4,6). Содержание органического вещества 90–96 %; емкость поглощения колеблется от средней до высокой, обеспеченность подвижными соединениями фосфора и калия высокая согласно критериям [Вальков и др., 2004].

Мезофауна исследованных болот представлена главным образом обитателями подстилки. На верховом болоте семь, а на осушаемом верховом восемь из десяти почвенных проб не содержали животных.

На верховом болоте (пл. 1) с хорошо развитой моховой подушкой таксономическое разнообразие беспозвоночных выше, чем на осушаемом (пл. 2) (табл. 1). По всей видимости, осушение оказало основное влияние на изменение структуры и состава мезофауны. Беспозвоночные здесь демонстрируют самые низкие показатели по разнообразию, численности

и биомассе (см. табл. 1). Для обоих болот характерно наличие единичных находок таких типичных почвенных обитателей, как Lumbicidae, демонстрирующих крайне низкую численность (1,6 экз./м²) и полное отсутствие энхитреид (Enchytraeida) (см. табл. 1).

В моховом слое верхового болота (пл. 1) довольно разнообразны пауки: 13 видов из 8 семейств. Плотность пауков в данном типе болот превосходит показатели всех других беспозвоночных, особенно многочисленны представители Linyphiidae (30,4 экз./м²) и Lycosidae (20,8 экз./м²). На осушаемом болоте пауки малочисленны (9,6 экз./м²); их разнообразие низкое – обнаружены *Gongelidiellum murcidum* Simon и *Pocadicnemys pumila* (Blackwall) из сем. Linyphiidae и *Robertus lividus* (Blackwall) из сем. Theridiidae.

Среди насекомых наиболее многочисленными оказались Staphylinidae (см. табл. 1).

Таким образом, основу населения верхового болота составили пауки (65,6 экз./м², или 53 %) и насекомые (43,2 экз./м², или 35 %); осушаемого верхового болота – насекомые (25,6 экз./м², или 46 %) и многоножки-костянки (19,2 экз./м², или 34 %) (рис. 2, а, 3, а).

Леса

Все лесные биоценозы на обследованной территории вторичны и сформированы на бывших вырубках и на зарастающих лугах.

Смешанный березово-еловый травяной лес (пл. 3) расположен на склоне долины р. Быгель в районе солеотвала. В древесном ярусе преобладают *Picea obovata* Ledeb. и *Betula pendula* Roth., в примеси встречается *Abies sibirica* Ledeb. В подлеске представлены кустарники: *Padus avium* Mill., *Rubus idaeus* L., *Sorbus aucuparia* L., *Lonicera xylosteum* L. и др. Возобновление слабое, преимущественно хвойными. В травяно-кустарничковом ярусе встречаются как неморальные, так и бореальные виды: *Rubus saxatilis* L., *Vaccinium myrtillus* L., *Pulmonaria obscura* Dumort., *Calamagrostis arundinacea* (L.) Roth., *Aegopodium podagraria* L., *Lathyrus vernus* (L.) Bernh., *Oxalis acetosella* L. и др. Моховой ярус развит слабо. Хорошо развита подстилка из хвойно-лиственного опада.

Мелколиственный осиново-березовый лес (пл. 4) расположен в долине р. Быгель в районе солеотвала. В древесном ярусе преобладают

Таксономический состав, плотность (экз./м² ± SE) и биомасса (г/м²) почвенно-подстилочной мезофауны на болотах (пл. 1 и 2) и в лесах (пл. 3–5)

Таксон	Учетная площадка				
	1	2	3	4	5
Lumbricidae	<u>0,0</u> 1,6±0,5	<u>1,6±0,5</u> 0,0	<u>65,6 ± 5,2</u> 100,8±9,9	<u>49,6 ± 4,0</u> 22,4±3,2	<u>1,6±0,5</u> 0,0
Enchytraeida	–	–	<u>3,2 ± 1,0</u> 3,2±0,7	<u>51,2 ± 6,0</u> 3,2±0,7	–
Gastropoda	<u>3,2±1,0</u> 0,0	–	–	<u>9,6±1,1</u> 1,6±0,5	–
Chilopoda	<u>6,4 ± 2,0</u> 0,0	<u>17,6±2,1</u> 1,6±0,5	<u>20,8 ± 2,3</u> 16,0±1,3	<u>59,2 ± 5,0</u> 24,0±2,0	<u>24,0 ± 1,6</u> 11,2±1,7
Diplopoda	–	–	<u>1,6±0,5</u> 0,0	–	–
Opiliones	–	–	<u>1,6±0,5</u> 0,0	<u>6,4±1,1</u> 3,2±0,7	–
Araneae	<u>65,6±4,7</u> 3,2±0,8	<u>8,0 ± 1,4</u> 1,6±0,5	<u>17,6±1,6</u> 3,2±0,7	<u>70,4 ± 4,4</u> 4,8±0,8	<u>16,0±1,1</u> 1,6±0,5
Blattodea, imago	<u>3,2±0,7</u> 0,0	–	–	–	–
Hemiptera: Heteroptera	<u>6,4±0,8</u> 1,6±0,5	–	<u>8,0±1,1</u> 1,6±0,5	<u>11,2±1,7</u> 0,0	<u>3,2±0,7</u> 0,0
Thysanoptera	<u>1,6±0,5</u> 0,0	–	–	<u>1,6±0,5</u> 0,0	–
Coleoptera sp.	<u>1,6±0,5</u> 1,6±0,5	–	<u>1,6 ± 0,5</u> 4,8±1,1	<u>1,6±0,5</u> 0,0	–
Cantharidae, larva	<u>1,6±0,5</u> 0,0	–	–	–	–
Staphylinidae	<u>9,6 ± 1,7</u> 1,6±0,5	<u>12,8±0,7</u> 0,0	<u>20,8±2,0</u> 3,2±0,7	<u>33,6 ± 2,6</u> 4,8±0,8	<u>4,8±0,8</u> 0,0
Carabidae, imago	<u>4,8±1,1</u> 1,6±0,5	<u>6,4±2,0</u> 0,0	–	<u>1,6 ± 0,5</u> 3,2±0,7	<u>1,6±0,5</u> 0,0
Elateridae, imago	–	–	–	<u>1,6±0,5</u> 0,0	–
Elateridae, larva	<u>1,6±0,5</u> 0,0	<u>1,6±0,5</u> 3,2±0,7	–	<u>0,0</u> 3,2±0,7	<u>1,6±0,5</u> 14,4±0,9
Curculionidae, imago	–	–	–	–	<u>0,0</u> 1,6±0,5
Chrysomelidae, imago	<u>3,2±0,8</u> 0,0	–	<u>1,6±0,5</u> 0,0	–	–
Hymenoptera: Parasitica, imago	<u>1,6±0,5</u> 0,0	<u>1,6±0,5</u> 0,0	<u>1,6±0,5</u> 0,0	<u>6,4 ± 2,0</u> 0,0	–
Lepidoptera, larva & pupa	–	–	<u>3,2±1,0</u> 0,0	<u>11,2 ± 1,5</u> 0,0	<u>1,6±0,5</u> 1,6±0,5
Прочие группы	–	–	–	<u>8,0 ± 1,2</u> 0,0	<u>14,4±2,6</u> 1,6±0,5
Плотность в подстилке	112,0±6,6	49,6±4,4	147,2±7,3	323,2±16,6	68,8±2,9
Биомасса в подстилке	0,24	0,16	2,36	1,30	0,67
Плотность в почве	11,2±1,9	6,4±1,5	132,8±11,6	70,4±4,7	32,0±2,0
Биомасса в почве	0,03	0,06	0,02	0,96	0,12
Плотность в двух слоях	123,2±33,8	56,0±5,4	280,0±12,9	393,6±4,8	100,8±4,0
Биомасса в двух слоях	0,27	0,22	9,38	2,26	0,79

П р и м е ч а н и е. В числителе – плотность в подстилке, в знаменателе – то же в почвенном слое; прочерк – отсутствие таксона.

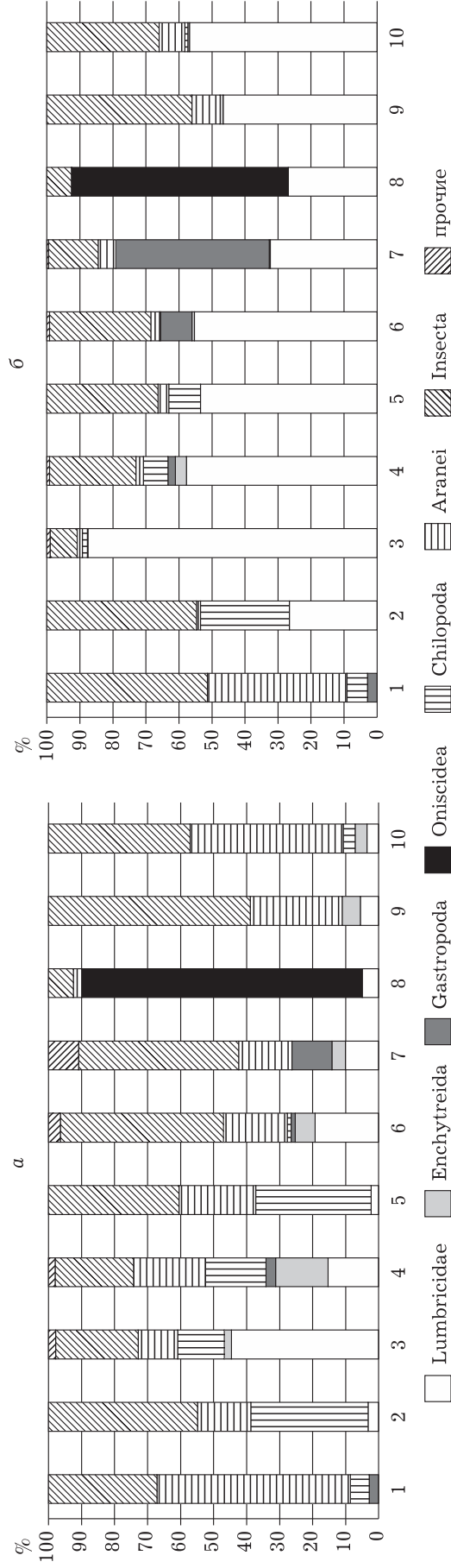


Рис. 2. Соотношение плотности (а) и биомассы (б) основных групп мезофауны подстилки на исследованных учетных площадках. Прочие группы: Diploroda, Acariformes, Opiliones

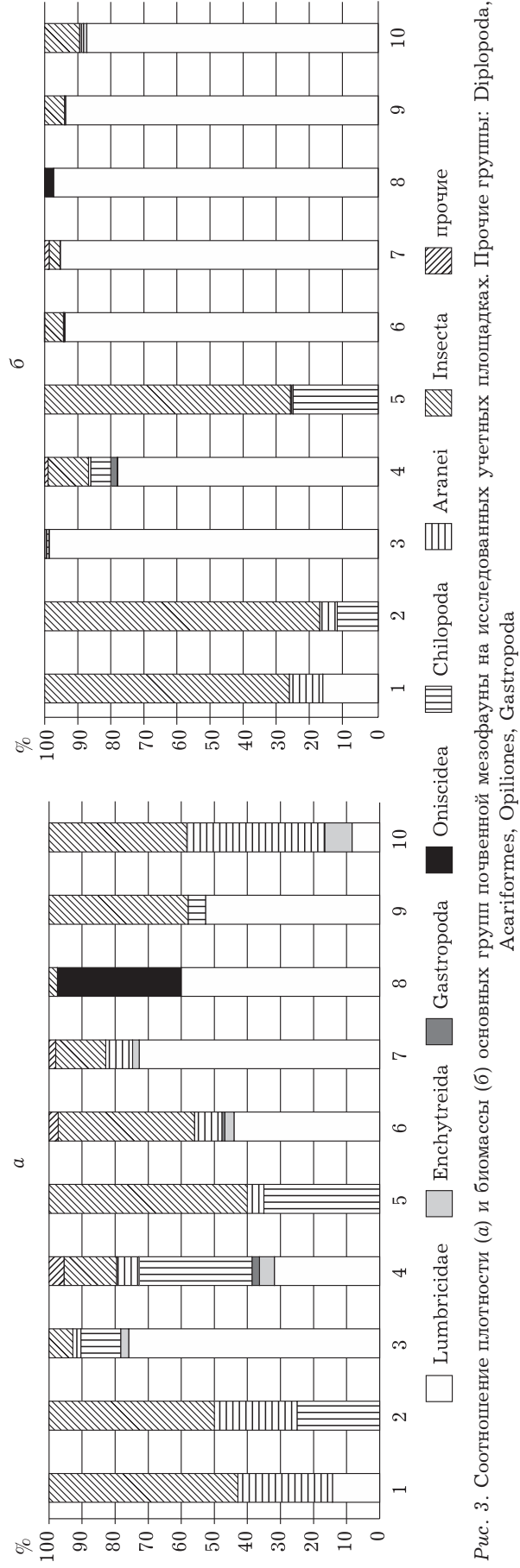


Рис. 3. Соотношение плотности (а) и биомассы (б) основных групп почвенной мезофауны на исследованных учетных площадках. Прочие группы: Diploroda, Acariformes, Opiliones, Gastropoda

осина (*Populus tremula* L.) и береза повислая (*Betula pendula*). В подросте обычна ель сибирская, пихта встречается реже. Кустарники разнообразны – *Alnus incana* (L.) Moench, *Rubus idaeus*, *Rosa acicularis* Lindl. Из трав доминируют *Aegopodium podagraria*, *Pulmonaria obscura*, *Equisetum pratense* Ehrh., *Oxalis acetosella*, *Rubus saxatilis*, *Calamagrostis arundinacea*, *Asarum europaeum* L., *Stellaria holostea* L. и др. Хорошо развита подстилка из листового опада. На более влажных участках леса встречаются высокотравные участки с преобладанием таволги вязолистной. Довольно многочисленны здесь луговые виды (это определяется как вторичным типом леса, так и близостью дорог и тропинок). Высокое флористическое разнообразие данного лесного фитоценоза связано с проникновением в его состав луговых и сорно-рудеральных видов.

На площадках 3 и 4 диагностирована серогумусовая суглинистая почва. Мощность серогумусового горизонта варьирует от 15 до 20 см, окраска серо-бурая, структура комковато-порошистая. Содержание органического вещества в гумусовом горизонте 4,3–4,7 %, с глубиной его количество снижается. Почвы кислые ($\text{pH}_{\text{вод}}$ 4,4–4,8); емкость поглощения низкая; уровень обеспеченности подвижными соединениями фосфора и калия низкий. Засоление отсутствует.

Смешанный березово-сосновый лес (пл. 5) расположен в 3,5 км от г. Березники, в 7,5 км от обогатительной фабрики. В древесном ярусе доминируют береза повислая и сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), *Picea obovata* встречается единично. В подросте преимущественно ель сибирская, береза повислая, реже сосна обыкновенная (в “окнах”). Подлесок слабо развит, представлен единичными особями *Sorbus aucuparia* L. В травяно-кустарничковом ярусе доминируют кустарнички *Vaccinium myrtillus* L., *Vaccinium vitis-idaea* L., встречаются *Lycopodium clavatum* L. и *L. annotinum* L., *Calamagrostis arundinacea*, *Linnaea borealis* L., *Melampyrum pratense* L., *Luzula pilosa* (L.) Willd. В мохово-лишайниковом ярусе присутствуют зеленые мхи. Данный фитоценоз (как и сосновые леса в целом) довольно беден, здесь отмечается наименьшее количество видов сосудистых растений. Подстилка слабо развита, состоит преимущественно из хвойного опада.

На пл. 5 диагностирован дерново-подзол иллювиально-железистый. Почва имеет песчаный гранулометрический состав, состоит из трех горизонтов: серогумусового, подзолистого и альфегумусового. Мощность серогумусового горизонта около 10 см, он залегает под развитой подстилкой. Содержание органического вещества в гумусовом горизонте 2,77 %, в подзолистом – 2 %; почва кислая, $\text{pH}_{\text{вод}}$ 3,9–4,7; емкость поглощения низкая – 18 мг-экв/100 г; уровень обеспеченности подвижными соединениями фосфора и калия очень низкий. Засоление отсутствует.

В целом мезофауна лесов богаче болотной, за исключением населения березово-соснового леса. В последнем биотопе разнообразие, численность и биомасса подстилочно-почвенных обитателей низкие и сравнимы с показателями беспозвоночных верхового болота (пл. 1). Обращает на себя внимание низкая численность мезофауны почвенного слоя березово-соснового леса, плотность беспозвоночных которого в 2 раза меньше, чем в осиново-березовом, и в 4 раза, чем в березово-еловом лесу (см. табл. 1).

Таксономическим разнообразием беспозвоночных выделяются осиново-березовый и березово-еловый леса. Здесь представлено три типа животных: Annelida (только Clitellata), Mollusca (только Gastropoda) и Arthropoda. Наиболее разнообразны последние. Среди них обнаружено четыре класса, состоящие: из двух отрядов Chilopoda, одного отряда Diplopoda, двух отрядов Arachnida и шести отрядов Insecta. Численность беспозвоночных этих лесов большая (см. табл. 1).

Дождевые черви представлены во всех типах лесов, а в осиново-березовом и березово-еловом формируют основную часть населения (18 и 59 % от общей численности и 66 и 96 % от общей биомассы соответственно) (табл. 2, 3). Enchytraeida были достаточно многочисленны в осиново-березовом лесу (14 % от общей численности), встречались в березово-еловом (2 % от общей численности) и отсутствовали в березово-сосновом. Таким образом, в лесных ценозах с хорошо развитой подстилкой, за исключением березово-соснового леса, формируется типичный для них сапрофитный комплекс, представленный подстилочными и почвенными червями.

Таксономический состав, плотность (экз./м² ± SE) и биомасса (г/м²) почвенно-подстилочной мезофауны лугов

Таксон	Учетная площадка				
	6	7	8	9	10
Lumbricidae	$25,6 \pm 4,6$ $76,8 \pm 21,2$	$16,0 \pm 1,8$ $115,2 \pm 5,3$	$3,2 \pm 1,0$ $76,8 \pm 4,3$	$3,2 \pm 0,7$ $16,0 \pm 1,3$	$1,6 \pm 0,5$ $1,6 \pm 0,5$
Enchytraeida	$8,0 \pm 1,6$ $4,8 \pm 1,7$	$6,4 \pm 1,5$ $3,2 \pm 1,0$	—	$3,2 \pm 1,0$ $0,0$	$1,6 \pm 0,5$ $1,6 \pm 0,5$
Gastropoda	$1,6 \pm 0,5$ $1,6 \pm 0,5$	$19,2 \pm 2,0$ $0,0$	—	—	—
Oniscidea	—	—	$54,4 \pm 6,8$ $48,0 \pm 8,5$	—	—
Chilopoda	$1,6 \pm 0,5$ $0,0$	—	—	$0,0$ $1,6 \pm 0,5$	—
Trombidiformes	$3,2 \pm 1,0$ $4,8 \pm 0,8$	$14,4 \pm 2,4$ $0,0$	—	—	—
Opiliones	$1,6 \pm 0,5$ $0,0$	—	—	—	—
Aranei	$25,6 \pm 2,9$ $14,4 \pm 1,2$	$25,6 \pm 2,3$ $12,8 \pm 1,8$	$1,6 \pm 0,5$ $0,0$	$16,0 \pm 1,8$ $0,0$	$20,8 \pm 2,5$ $8,0 \pm 1,4$
Blattodea, imago	$1,6 \pm 0,5$ $0,0$	—	—	—	—
Hemiptera: Heteroptera	$11,2 \pm 2,0$ $6,4 \pm 0,8$	$8,0 \pm 1,4$ $0,0$	—	$1,6 \pm 0,5$ $0,0$	$1,6 \pm 0,5$ $1,6 \pm 0,5$
Hemiptera: Auchenorrhyncha	—	$8,0 \pm 1,1$ $1,6 \pm 0,5$	—	$4,8 \pm 1,8$ $0,0$	$1,6 \pm 0,5$ $0,0$
Thysanoptera	—	$3,2 \pm 0,7$ $0,0$	—	—	—
Coleoptera sp.	$8,0 \pm 1,3$ $19,2 \pm 5,2$	$11,2 \pm 1,8$ $3,2 \pm 0,7$	$1,6 \pm 0,5$ $0,0$	—	—
Cantharidae, larva	$1,6 \pm 0,5$ $0,0$	$6,4 \pm 0,8$ $0,0$	—	—	—
Staphylinidae	$19,2 \pm 5,7$ $12,8 \pm 1,8$	$12,8 \pm 1,0$ $0,0$	$0,0$ $1,6 \pm 0,5$	$8,0 \pm 1,8$ $0,0$	$11,2 \pm 1,1$ $1,6 \pm 0,5$
Carabidae	$9,6 \pm 2,8$ $8,0 \pm 2,4$	$3,2 \pm 1,0$ $6,4 \pm 1,5$	—	$14,4 \pm 0,9$ $4,8 \pm 0,8$	$0,0$ $1,6 \pm 0,5$
Elateridae, imago	$0,0$ $1,6 \pm 0,5$	$0,0$ $3,2 \pm 0,7$	—	$0,0$ $1,6 \pm 0,5$	—
Elateridae, larva	$0,0$ $4,8 \pm 0,8$	—	$1,6 \pm 0,5$ $0,0$	$0,0$ $3,2 \pm 0,7$	$4,8 \pm 1,1$ $1,6 \pm 0,5$
Curculionidae	$6,4 \pm 1,3$ $9,6 \pm 3,0$	$11,2 \pm 1,3$ $1,6 \pm 0,5$	—	$3,2 \pm 0,7$ $0,0$	—
Lepidoptera, larva & pupa	$0,0$ $4,8 \pm 0,8$	$4,8 \pm 0,8$ $4,8 \pm 0,8$	$1,6 \pm 0,5$ $0,0$	$1,6 \pm 0,5$ $0,0$	—
Diptera	$4,8 \pm 1,1$ $1,6 \pm 0,5$	$0,0$ $3,2 \pm 0,7$	$0,0$ $1,6 \pm 0,5$	$1,6 \pm 0,5$ $1,6 \pm 0,5$	—
Прочие группы	$3,2 \pm 1,0$ $3,2 \pm 0,7$	$8,0 \pm 1,7$ $0,0$	—	$0,0$ $1,6 \pm 0,5$	$0,0$ $1,6 \pm 0,5$
Плотность в подстилке	$132,8 \pm 10,6$	$158,4 \pm 6,6$	$64,0 \pm 6,8$	$57,6 \pm 3,8$	$43,2 \pm 2,8$
Биомасса в подстилке	1,03	1,22	0,61	0,33	0,57
Плотность в почве	$174,4 \pm 7,7$	$155,2 \pm 3,2$	$128,0 \pm 7,8$	$30,4 \pm 2,9$	$19,2 \pm 2,1$
Биомасса в почве	7,32	14,43	12,20	2,87	0,42
Плотность по двум слоям	$307,2 \pm 17,1$	$313,6 \pm 7,7$	$192,0 \pm 14,7$	$88,0 \pm 5,1$	$64,0 \pm 2,7$
Биомасса по двум слоям	8,35	15,65	12,81	3,20	0,99

П р и м е ч а н и е. В числителе – плотность в подстилке, в знаменателе – то же в почвенном слое; прочерк – отсутствие таксона.

Коэффициенты корреляции плотности (N) и биомассы (B) почвенной мезофауны с химическими свойствами почв

Таксон (N или B)	pH _{вод}	pH _{сол}	HCO ₃	Cl ⁻	Ca ²⁺	Na ⁺	K ⁺	C _{орг}	ЕКО	P ₂ O ₅	K ₂ O
Lumbricidae (N)	0,46	0,37	0,41	-0,48	-0,45	-0,34	-0,27	-0,45	-0,32	-0,40	-0,31
Lumbricidae (B)	0,64	0,55	0,60	-0,44	-0,40	-0,27	-0,11	-0,42	-0,25	-0,33	-0,16
Enchytraeida (N)	0,08	-0,01	0,01	-0,35	-0,26	-0,33	-0,52	-0,45	-0,33	-0,42	-0,59
Enchytraeida (B)	0,06	-0,02	0,02	-0,06	0,13	0,07	-0,47	-0,46	-0,25	-0,42	-0,58
Gastropoda (N)	0,03	-0,09	0,00	-0,28	-0,29	-0,29	-0,38	-0,28	-0,22	-0,30	-0,42
Gastropoda (B)	-0,01	-0,13	-0,04	-0,13	-0,18	-0,07	-0,28	-0,17	-0,12	-0,22	-0,31
Oniscidea (N)	0,75	0,80	0,85	-0,22	-0,14	-0,03	0,43	-0,17	-0,06	-0,25	0,28
Oniscidea (B)	0,75	0,80	0,85	-0,22	-0,14	-0,03	0,43	-0,17	-0,06	-0,25	0,28
Chilopoda (N)	-0,33	-0,34	-0,23	-0,29	-0,32	-0,30	-0,37	-0,32	-0,32	-0,34	-0,39
Chilopoda (B)	-0,33	-0,34	-0,24	-0,29	-0,33	-0,30	-0,41	-0,32	-0,29	-0,28	-0,38
Opiliones (N)	-0,18	-0,19	-0,02	-0,24	-0,20	-0,25	-0,17	-0,18	-0,21	-0,20	-0,17
Opiliones (B)	-0,18	-0,19	-0,02	-0,24	-0,20	-0,25	-0,17	-0,18	-0,21	-0,20	-0,17
Aranei (N)	0,00	-0,09	-0,10	-0,01	0,05	-0,03	-0,33	-0,18	-0,09	-0,32	-0,48
Aranei (B)	-0,14	-0,27	-0,16	-0,08	-0,12	0,01	-0,35	-0,17	-0,14	-0,35	-0,44
Insecta (N)	0,22	0,17	0,02	-0,33	-0,27	-0,48	-0,37	-0,32	-0,24	-0,12	-0,36
Insecta (B)	0,18	0,07	0,02	-0,31	-0,29	-0,39	-0,47	-0,32	-0,17	-0,04	-0,38
Total number	0,53	0,45	0,46	-0,56	-0,49	-0,46	-0,31	-0,54	-0,38	-0,47	-0,39
Total biomass	0,63	0,55	0,59	-0,44	-0,40	-0,27	-0,12	-0,42	-0,25	-0,33	-0,16

П р и м е ч а н и е. 0,5–0,7 – заметное значение, 0,7–0,9 – высокое значение корреляции по шкале Чеддока [Котеров и др., 2019].

Многоножки изученных лесных площадок относятся к двум классам. Из класса Chilopoda обнаружено два вида: широко распространенный *Lithobius curtipes* C.L.K. и *Arctogeophilus microcephalus* Folk. et Dobr. Только в смешанном березово-еловом травяном лесу обнаружен один экземпляр *Polyzonium germanicum* Bran. из класса Diplopoda. В лесных фитоценозах многоножки показали наибольшую численность по сравнению со всеми другими биотопами (от 35,2 до 81,6 экз./м²).

Сенокосцы представлены двумя типичными для таежной зоны видами: *Nemastoma lugubre* (Müll.) и *Oligolophus tridens* (C. L. K.), и были немногочисленны (см. табл. 1). Пауки разнообразны во всех лесных стадиях. Всего в лесах обнаружено 7 семейств и 19 видов. Среди них наибольшим разнообразием отличается Linyphiidae (13 видов). Другие шесть семейств (Dictynidae, Clubionidae, Tetragnathidae, Lycosidae, Theridiidae, Araneidae) представлены одним–двумя видами. Количество

видов пауков в осиново-березовом лесу выше (14 видов из четырех семейств), чем во всех других исследованных участках, включая луговые и болотные стадии. Здесь же отмечается самая высокая плотность пауков – 75,2 экз./м². В других лесах плотность пауков в 2 раза меньше. Все виды пауков и сенокосцев являются типичными для таежной зоны Урала [Есюнин и др., 2001].

Перечень отрядов насекомых обычен для лесной мезофауны. Во всех изученных лесах встречались Coleoptera, Hemiptera: Heteroptera и Lepidoptera (см. табл. 1). Наибольшее таксономическое разнообразие демонстрируют жуки – 6 семейств. Насекомые в лесных стадиях достаточно многочисленны. В березово-сосновом лесу они составили 46 %, в осиново-березовом – 22 %, а в березово-еловом лесу – 17 % от общей численности беспозвоночных (см. рис. 2, а, 3, а). Наибольшая плотность характерна для Staphylinidae (38,4 и 24,0 экз./м² в осиново-березовом

и березово-еловом лесах соответственно), личинки Elateridae (16,0 экз./м²) – в березово-сосновом лесу, гусеницы и куколки Lepidoptera и Hemiptera (только Heteroptera) – в осиново-березовом лесу – по 11,2 экз./м².

Луга (пл. 6–10)

Луговая растительность на территории исследования развита на месте сведенных лесов, на залежах и сенокосах. Первичные луга можно обнаружить только в поймах рек. Некоторые участки пойменных лугов на территории воздействия соледобывающих предприятий подвержены засолению. При этом все типы материковых лугов (низинные, суходольные) с промывным водным режимом не испытывают нагрузки засолением, и состав растительности типичен для лугов таежной зоны.

Разнотравно-злаковый мезофильный луг (пл. 6) наиболее удален от мест воздействия соледобывающих предприятий. Луг сформирован на залежи и представляет собой стадию зарастания, представленную многолетними травами. Проектное покрытие травяного яруса 80 %, средняя высота травостоя 65 см. Доминантами первого подъяруса являются *Dactylis glomerata* L., *Bromus inermis* Leyss., *Cirsium arvense* (L.) Scop. и *Cirsium setosum* (Willd.) Bess. Второй и третий подъярусы многовидовые, образованы широко распространенными луговыми и сорно-рудеральными видами: *Bunias orientalis* L., *Geranium sylvaticum* L., *Galium mollugo* L., *Taraxacum officinale* Wigg., *Alchemilla vulgaris* L., *Lathyrus pratensis* L. и др.

Перегноино-темногумусовая остаточнокarbonатная почва имеет невысокую плотность и различное количество каменистых включений с глубины 40 см. Мощность темногумусового горизонта варьирует от 20 до 30 см, окраска темно-серая, структура комковатая. Содержание органического вещества в гумусовом горизонте 5,12–5,25 %; почва нейтральная – pH_{вод} 6,5–6,9; емкость поглощения 22 мг-экв/100 г; уровень обеспеченности подвижным фосфором средний, подвижным калием – низкий согласно критериям [Вальков и др., 2004]. Засоление отсутствует.

Разнотравно-злаковый низинный луг (пл. 7) расположен на надпойменной террасе р. Усолка. Проектное покрытие травяного яруса

70 %, средняя высота травостоя 45 см. Травяной ярус низинного луга включает преимущественно луговые гигрофильные и гигромезофильные виды: *Deschampsia cespitosa* (L.) Beauv., *Filipendula ulmaria* (L.) Maxim., *Carex acuta* L., *Trollius europaeus* L., *Cirsium heterophyllum* (L.) Hill, *Lathyrus pratensis*, *Dactylis glomerata*, *Polygonum bistorta* L., *Geum rivale* L., *Coronaria flos-cuculi* (L.) A. Br., *Stachys palustris* L., *Ranunculus repens* L., *Scirpus sylvaticus* L., *Veronica longifolia* L., *Alchemilla vulgaris* и др. Благодаря развитой сети проселочных дорог многочисленны сорно-рудеральные виды.

На данном лугу диагностирована аллювиальная гумусовая глеевая почва. Гумусовый горизонт имеет серую окраску, комковато-порошистую структуру. Под ним залегает грязно-коричневый с ржавыми и голубоватыми пятнами глеевый горизонт. В почве много подвижных оксидов железа. Содержание органического вещества в гумусовом горизонте 9,66–12,5 %; ЕКО высокая и увеличивается с глубиной с 24 мг-экв/100 г до 46; почва кислая (pH_{вод} 5,1–5,6); низкий уровень обеспеченности подвижными фосфором и калием согласно критериям [Вальков и др., 2004]. Засоление отсутствует.

Разнотравно-вейниковый суходольный луг (пл. 8) находится в непосредственной близости от солеотвала. У подножия солеотвала формируются не характерные для района исследования сообщества, включающие большое количество сорно-рудеральных видов, а также ряд адвентивных галофильных видов. Средняя высота травостоя 45 см, проективное покрытие травяного яруса 60 %. Доминантом первого подъяруса луга является *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth. Также в составе фитоценоза присутствуют *Atriplex patens* (Litv.) Iljin, *Puccinellia distans* (Jacq.) Parl., *Lactuca tatarica* (L.) C. A. Mey., *Rumex crispus* L., *Tanacetum vulgare* L., *Tussilago farfara* L., *Melilotus albus* Medik, *Sonchus arvensis* L. и другие, преимущественно сорно-рудеральные виды. Данный фитоценоз расположен в пределах города и подвержен наиболее сильному антропогенному прессу.

Почва данного луга имеет антропогенную природу, серогумусовая глинистая на абралите. Серогумусовый горизонт темно-серого цвета, комковато-порошистый, уплотненный. Содер-

жание органического вещества до 20 см – 5,79 %, резко снижается с глубиной почти в 4 раза; почва слабощелочная – $\text{pH}_{\text{вод}}$ 7,7–8,36; ЕКО высокая – 25–46 мг-экв/100 г; уровень обеспеченности подвижным фосфором низкий, для калия характерен высокий уровень согласно критериям [Вальков и др., 2004], что может быть обусловлено близостью солеотвала. Засоление отсутствует, однако в слое 20–40 см обнаружено повышенное содержание сульфат-ионов и ионов кальция.

Злаково-разнотравный суходольный луг (пл. 9) сформирован на залежи. Травостой невысокий, средняя высота 30 см, проективное покрытие 40 %. Доминирующими видами являются: *Pimpinella saxifraga* L., *Hieracium umbellatum* L., *Dactylis glomerata* L., *Hypericum maculatum* Crantz, *Agrostis tenuis* Sibth., *Leucanthemum vulgare* Lam., *Anthoxanthum odoratum* L., и ряд других сорно-рудеральных и луговых видов, встречающихся на бедных сухих почвах.

Суходольный луг (пл. 9) сформировался на серогумусовой суглинистой почве. Серогумусовый горизонт мощностью 36 см темно-серой окраски, комковато порошистой структуры. Содержание органического вещества около 8 %, емкость поглощения 28 мг-экв/100 г, уровень обеспеченности подвижными фосфором и калием очень высокий согласно критериям [Вальков и др., 2004]. Засоление отсутствует.

Разнотравно-злаковый пойменный луг (пл. 10) расположен в пойме р. Лёнва, рядом со шламохранилищем. Это высокотравный многовидовой фитоценоз с преобладанием гигрофильных видов. По низким берегам в пойме развито высокотравье из *Equisetum fluviatile* L., *Filipendula ulmaria* (L.) Maxim., *Digraphis arundinaceae* (L.) Rauschert, *Geum rivale* L., *Scirpus sylvaticus* L., *Veronica longifolia* L., *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud., *Deschampsia cespitosa* (L.) Beauv. и др.

Морфологическое строение аллювиальной глеевой глинистой почвы пл. 10 идентично почве пл. 7. Содержание органического вещества до глубины 10 см – 8,18 %, ниже – снижение почти в 2 раза; почва кислая – $\text{pH}_{\text{вод}}$ 5,3; ЕКО средняя, уровень обеспеченности подвижными фосфором и калием низкий согласно критериям [Вальков и др., 2004]. Засоление в верхний слоях отсутствует, с 80 см отмечается слабое засоление почвы.

Все изученные луга заметно отличаются друг от друга по составу, численности и биомассе почвенно-подстилочной мезофауны. Таксономическое разнообразие беспозвоночных мезофильного и низинного лугов богаче остальных и представлено тремя типами, четырьмя классами и 13 отрядами беспозвоночных. Только здесь обнаружены паукообразные из отрядов Trombidiformes, Opiliones, а также насекомые из отряда Thysanoptera, жуки семейств Cantharidae, Curculionidae (см. табл. 2). На лугу возле солеотвала и на пойменном лугу разнообразие таксономических групп беспозвоночных самое низкое (см. табл. 2). В этих биотопах отсутствовали типичные обитатели подстилки и почвы из числа многоножек и паукообразных (Chilopoda, Opiliones), а насекомые показали невысокое разнообразие (см. табл. 2).

Дождевые черви встречались на всех лугах, но с разной плотностью. На мезофильном, низинном и на лугу у солеотвала Lumbricidae были многочисленны (в среднем 39 % от общей численности), а по биомассе составляли подавляющее большинство населения луговых беспозвоночных (в среднем 91 % от общей биомассы) (см. рис. 2, 3). Enchytraeida не так многочисленны, но были обнаружены почти на всех лугах, кроме луга возле солеотвала, население которого в целом отличается от прочих. Наземные Gastropoda редки. Они встречались только на мезофильном и низинном лугах. В подстилке последнего Gastropoda оказались наиболее многочисленными (22,4 экз./м²).

Мокрицы (Oniscidea), составляющие чуть больше половины беспозвоночных луга возле солеотвала (102,4 экз./м²), ни в одном изученном биотопе больше не встречались. На этом лугу, почва которого сформировалась на абралите, эти ракообразные вместе с дождевыми червями были самыми массовыми и по плотности, и по биомассе (90 % от общей численности и 99,5 % от общей биомассы) (см. рис. 2,3). Oniscidea вместе с Lumbricidae входят в сапротрофный комплекс данного луга и играют важную роль в разложении отмершего травянистого покрова.

Пауки на лугах довольно обычны, но плотность их значительно колеблется – от 1,6 до 40,0 экз./м². Наиболее разнообразны (9 видов из 5 семейств) и многочисленны (в среднем

39,7 экз./м²) они были на мезофильном и низинном лугах и практически отсутствовали на лугу возле солеотвала (обнаружена одна неполовозрелая особь из Gnaphosidae).

Многоножки на лугах практически отсутствовали. По одному экземпляру были найдены *Lithobius curtipes* C. L. K. в подстилке мезофильного луга и *Arctogeophilus macrocephalus* Foll. et Dobr. в почвенном слое суходольного луга. Насекомые на всех лугах, кроме луга возле солеотвала, составляют ядро населения беспозвоночных (32–55 % от общей численности) (см. рис. 2, а, 3, а). Наибольшее таксономическое разнообразие этот класс демонстрирует на мезофильном и низинном лугах, наименьшее – на пойменном лугу и на лугу возле солеотвала (см. табл. 2).

ОБСУЖДЕНИЕ

Обследованные верховые болота имеют типичный для региона флористический состав и фауну беспозвоночных подстилки и почвы. Верховое олиготрофное болото (пл. 1) с хорошо развитым моховым слоем имеет относительно богатое население беспозвоночных. Между тем осушаемое верховое болото (пл. 2) находится на стадии трансформации растительности, почвенной и подстилочной мезофауны. И как результат – плотность и биомасса населения беспозвоночных данного болота имеют самые низкие показатели по сравнению со всеми другими биотопами. В целом, в изученных болотах, находящихся далеко от мест выработки соледобывающих предприятий, влияние засоления на почву, растительность и мезофауну не выявлено.

Все обследованные леса вторичны по происхождению, но при этом достаточно типичны для региона. Учетные площадки, заложенные в лесах, были расположены на разном расстоянии от солеотвалов. Несмотря на разную удаленность этих площадок, засоления лесных почв не выявлено, но при этом была высока степень синантропизации растительности во всех типах лесных фитоценозов. На состав, структуру и обилие мезофауны беспозвоночных лесов существенное влияние оказывают тип леса, состав и толщина подстилки, степень увлажнения почвы и подстилки.

Луговые сообщества, обследованные в работе, преимущественно вторичны по проис-

хождению, естественные луга имеются только в поймах рек, где может быть выражено засоление (связанное с уровнем воды в водотоках). При этом все типы материковых лугов (низинные, суходольные) с промывным водным режимом не испытывают нагрузки засолением, их состав типичен для таежной зоны и представлен луговыми и сорно-рудеральными видами. Степень синантропизации лугов увеличивается вблизи населенных пунктов и мест воздействия соледобывающих предприятий. Мезофауны лугов, находящихся на удалении от промышленных предприятий (пл. 6, 7), в отличие от лугов, имеющих то или иное антропогенное воздействие (пл. 8, 9, 10), наиболее разнообразны по таксономическому составу почвенно-подстилочных беспозвоночных, а их население имеет относительно высокие плотность и значения биомассы.

Корреляционный анализ количественных показателей почвенной мезофауны с химическими свойствами почв представлен в табл. 3. Заметная положительная корреляция по шкале Р. Е. Чеддока [Котеров и др., 2019] обнаружена между значениями $pH_{\text{вод}}$, $pH_{\text{сол}}$, HCO_3 почв и значениями биомассы Lumbricidae. Это свидетельствует о чувствительности Lumbricidae к уровню кислотности субстрата, в котором они обитают, что отмечали и другие авторы [Baker, Whitby, 2003; Звягинцев и др., 2005; Воробейчик и др., 2012; Демаков и др., 2013].

Заметная положительная корреляция также отмечается между значениями $pH_{\text{вод}}$ и общей численностью всех изученных беспозвоночных, а также между $pH_{\text{вод}}$, $pH_{\text{сол}}$, HCO_3 почв со значениями общей биомассы всех беспозвоночных мезофауны. Учитывая тот факт, что у других групп беспозвоночных, кроме Lumbricidae, значения корреляции количественных характеристик их населения с химическими параметрами почв низкие, данную корреляцию можно объяснить весомым вкладом Lumbricidae, присутствие которых в пробах сразу дает заметное влияние.

Численность и биомасса Oniscidea демонстрируют высокую степень корреляции с теми же показателями почвы (см. табл. 3). Выше мы отмечали, что Oniscidea в большом количестве обнаружены исключительно только на лугу у солеотвала (пл. 8). Слабощелочная ре-

акция почвы данного местообитания, обилие гальки и щебня в верхнем слое (до 20 см) создают благоприятные условия для этих наземных ракообразных. Подчеркнем, важными экологическими факторами для мокриц является не только высокая влажность, но и содержание кальция в почве [Стриганова, 1987]. Oniscidea – первичные разрушители детрита, активные почвообразователи [Звягинцев и др., 2005] и на сильно нарушенных промышленных территориях человека пространства могут выступать пионерами их освоения, создавая условия для последующих групп почвенных беспозвоночных.

По остальным параметрам значимая и высокая корреляция между химическими показателями почв и количественными показателями изученных групп беспозвоночных мезофауны отсутствует или трудно объяснима.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Все обследованные биотопы имеют типичные для таежной зоны Урала флористический состав и фауну беспозвоночных подстилки и почвы. При этом выражена синантропизация растительности во всех изученных лесных и луговых фитоценозах, и чем ближе к населенным пунктам и местам воздействия содействующих предприятий, тем она сильнее.

Все исследованные почвы типичны для изученных биотопов. Природные почвы характеризовались кислой реакцией, антропогенная почва (серогумусовая на абралите) – слабощелочной. Емкость катионного обмена, кроме почв болот, имеет средние величины. Содержание органического вещества растет в ряду дерново-подзол – серогумусовая – аллювиальная – торфяная. На изученных участках засоление почв отсутствует.

Состав, структура и обилие мезофауны беспозвоночных всех изученных биотопов зависят от типа фитоценоза, состава и толщины подстилки, степени увлажнения почвы и подстилки. Корреляционный анализ не выявил статистической взаимосвязи химических свойств почв с количественными показателями многих групп беспозвоночных почвенной мезофауны, кроме Lumbricidae и Oniscidea. Последние достоверно проявляют зависимость их численности от уровня кислотности почвы.

В подстилке всех изученных биотопов, кроме суходольного луга, численно преобладали Insecta и Aranei, а по биомассе – Lumbricidae и Insecta. В почвенном слое и по плотности, и по биомассе доминировали Lumbricidae и Insecta. Наиболее сбалансированную структуру мезофауны подстилки показали березово-еловый и осиново-березовый леса, а также мезофильные и низинные луга. Что касается почвенной мезофауны, только в осиново-березовом лесу имеется заметное разнообразие почвенных беспозвоночных.

В условиях промывного водного режима бореальной зоны антропогенное засоление почвы в изученных биотопах не отмечено и, следовательно, не оказало влияния на состав и структуру почвенной мезофауны. Наибольшее влияние на эти показатели в таких условиях оказывают: тип фитоценоза, степень увлажнения, развитая подстилка либо дернина, антропогенная нагрузка, не связанная с засолением (мелиорация, изменение состава и структуры почв при механических нарушениях и др.).

Следующим этапом исследований на данной территории планируется оценка почв, растительности, почвенно-подстилочной мезофауны в непосредственной близости от промышленных площадок и мест складирования отходов, а также на участках с выраженным засолением почвы.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ, проект FSNF-2020-0021.

ЛИТЕРАТУРА

- ГОСТ 26426-85. Почвы. Методы определения иона сульфата в водной вытяжке. Сб. ГОСТов. М.: Изд-во стандартов, 1985. С. 21–27.
- ГОСТ 26428-85. Почвы. Методы определения кальция и магния в водной вытяжке. Сб. ГОСТов. М.: Изд-во стандартов, 1985. С. 32–39.
- ГОСТ 54650-2011. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. М.: Стандартиформ, 2013. 10 с.
- Автаева Т. А. Формирование карабидокомплексов (Coleoptera, Carabidae) урболандшафтов г. Грозного в условиях загрязнения почв. Назрань: Пилигрим, 2008. 161 с.
- Базилевич Н. И., Панкова Е. И. Опыт классификации почв по засолению // Почвоведение. 1968. № 11. С. 3–16.
- Блинова С. В., Редькина Е. Ю. Влияние цементного завода на мирмекофауну разнотравных лугов // Тр. Кемеровского отделения РЭО. Кемерово: Компания ЮНИТИ, 2005. Вып. 3. С. 4–8.

- Брагина Т. М. Закономерности изменений животного населения почв при опустынивании (на примере засушливой зоны Центральной Азии): автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М.: ИПЭЭ РАН, 2004. 46 с.
- Демаков Ю. П., Майшанова М. И., Гончаров Е. А., Богданов Г. А., Краснобаев Ю. П., Швецов С. М., Чемерис А. Н. Воздействие завода силикатного кирпича на состояние и структуру соснового биогеоценоза. Йошкар-Ола: Поволжский гос. технол. ун-т, 2013. 192 с.
- Вальков В. Ф., Елисеєва Н. В., Имгрунт И. И., Казеев К. Ш., Колесников С. И. Справочник по оценке почв. Майкоп: ГУРИПП "Адыгея", 2004. 236 с.
- Воробейчик Е. Л., Ермаков А. И., Золотарев М. П., Тунева Т. К. Изменения разнообразия почвенной мезофауны в градиенте промышленного загрязнения // Russian Entomol. J. 2012. Vol. 21, N 2. P. 203–218.
- Воробейчик Е. Л., Садыков О. Ф., Фарафонов М. Г. Экологическое нормирование техногенных загрязнений наземных экосистем / под ред. Е. Л. Воробейчик. Екатеринбург: УИФ "Наука", 1994. 280 с.
- Гиляров М. С. Учет крупных беспозвоночных (мезофауны) // Методы почвенно-зоологических исследований. М.: Наука, 1975. С. 12–29.
- Еремченко О. З., Пахоруков И. В., Шестаков И. Е. Развитие солончакового процесса в почвах долин малых рек таежно-лесной зоны в связи с производством калийных солей // Почвоведение. 2020. № 4. С. 483–494. doi: 10.31857/S0032180X2004005X
- Есюнин С. Л., Козьминых В. О., Фарзалиева Г. Ш., Шумиловских Л. С., Ухова Н. Л. Динамика изменения структуры и разнообразия герпетобионтных беспозвоночных на травяной стадии развития гарей пихтоельников Висимского заповедника // Исследования эталонных природных комплексов Урала: матер. науч. конф., посвящ. 30-летию Висимского заповедника. Екатеринбург: Изд-во "Екатеринбург", 2001. С. 284–294.
- Звягинцев Д. Г., Бабьева И. П., Зенова Г. М. Биология почв: учебник. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2005. 445 с.
- Ипатов В. С., Мирин Д. М. Описание фитоценоза: метод. рекомендации. СПб., 2008. 71 с.
- Казанцева М. Н., Сванидзе И. Г. Трансформация лесного фитоценоза в южной тайге Западной Сибири под действием минерализованных пластовых вод // Вестн. Тюм. гос. ун-та. Экология и природопользование. 2016. Т. 2, № 3. С. 71–81.
- Котеров А. Н., Ушенкова Л. Н., Зубенкова Э. С., Калинина М. В., Бирюков А. П., Ласточкина Е. М., Молодцова Д. В., Вайнсон А. А. Сила связи. Сообщение 2. Градации величины корреляции // Мед. радиология и радиац. безопасность. 2019. Т. 64, № 6. С. 12–24
- Методы изучения лесных сообществ. СПб.: НИИХимии СПбГУ, 2002. 240 с
- Нагуманова Н. Г. Пространственная дифференциация почвенных беспозвоночных степного Зауралья // Зоол. журн. 2007. Т. 86, № 8. С. 912–920.
- Овесов С. А. Ботанико-географическое районирование Пермской области // Вестн. Пермск. ун-та. Биология. 2000. Вып. 2. С. 13–21.
- Прокаряевский А. Д., Гонгальский К. Б., Зайцев А. С., Савин Ф. А. Пространственная экология почвенных животных. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2007. 174 с.
- Соловьева З. Е., Трофимов С. Я. Особенности трансформации почвенно-растительного покрова при загрязнении нефтью и минерализованными водами в Среднем Приобье // Вестн. МГУ. Сер. 17. Почвоведение. 2008. № 1. С. 3–8.
- Соромотин А. В., Гашев С. Н., Казанцева М. Н. Солевое загрязнение таежных биогеоценозов при нефтедобыче в Среднем Приобье // Проблемы географии и экологии Западной Сибири: сб. науч. ст. Тюмень, 1996. С. 121–131.
- Стриганова Б. Р. Методы фиксации, хранения и лабораторного содержания почвообитающих беспозвоночных // Количественные методы в почвенной зоологии. М.: Наука, 1987. С. 72–87.
- Танасевич А. В., Рыбалов Л. Б., Камаев И. О. Динамика почвенной мезофауны в зоне техногенного воздействия // Лесоведение. 2009. № 6. С. 63–72.
- Теория и практика химического анализа почв / под ред. Л. А. Воробьевой. М.: ГЕОС, 2006. 400 с.
- Хобракова Л. Ц., Лаврентьева И. Н., Данилов С. Н., Убугунов Л. Л., Убугунова В. И., Зайцева С. В. Беспозвоночные животные чиевой степи на солонцах Забайкалья: пространственно-временная структура // Сиб. экол. журн. 2015. Т. 22, № 1. С. 89–101 [Khobrakova L. C., Lavrentieva I. N., Danilov S. N., Ubugunov L. L., Ubugunova V. I., Zaitseva S. V. Invertebrates of the Cheegrass Steppe in Solonchic Soils of Transbaikalia: Spacetime Structure // Contemporary Problems of Ecology. 2015. Vol. 8, N 1. P. 72–82].
- Baker G. H., Whitby W. A. Soil pH preferences and the influences of soil type and temperature on the survival and growth of *Aporrectodea longa* (Lumbricidae): The 7th international symposium on earthworm ecology. Cardiff Wales, 2002 // Pedobiologia. 2003. Vol. 47, N 5–6. P. 745–753.
- Baklanov M. A., Pozdeev I. V., Kotelnikova V. S., Ogorodov S. P., Bezmaternykh V. V. Assessment of Anthropogenic Salinisation Impact on the Benthic Invertebrates and Fish in a Small River – a Tributary of the Kama Reservoir // IOP Conference Series: Earth and Environ. Sci. 2019. Vol. 321. 012060. doi: 10.1088/1755-1315/321/1/012060
- Bengtsson G., Rundgren S. Ground-living invertebrates in metal-polluted forest soils // Ambio. 1984. Vol. 13. P. 29–33.
- Fu S., Li M., Zhang W., Shao Y. A review of recent advances in the study of geographical distribution and ecological functions of soil fauna diversity // Biodiver. Sci. 2022. Vol. 30, N 10: 22435. doi: 10.17520/biods.2022435
- Gurov A. V., Gurova N. N., Pet'ko V. M. Assemblages of terrestrial arthropods under the technogenic impact of Norilsk industrial complex // Contemporary Problems Ecology. 2014. N 7. P. 701–707. https://doi.org/10.1134/S1995425514060043
- Hammer Ø., Harper D. A. T., Ryan P. D. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis // Palaeontol. Electron. 2001. Vol. 4, N 1. P. 1–9.
- Khayrulina E., Novoselova L., Mitrakova N., Bogush A. Properties of alluvial soils of taiga forest under anthropogenic salinisation // Forests. 2021. Vol. 12, N 3. doi: 10.3390/f12030321
- Rosenberg Y., Bar-on Y. M., Fromm A., Ostikar M., Shoshany A., Giz O., Milo R. The global biomass and number of terrestrial arthropods // Sci. Adv. 2023. Vol. 9, N 5. doi: 10.1126/sciadv.abq4049
- Santorufu L., van Gestel Cornelis A. M., Rocco A., Mais-to G. Soil invertebrates as bioindicators of urban soil quality // Environ. Pollut. 2012. Vol. 161. P. 57–63.

Shao Y. H., Zhang W. X., Liu S. J., Wang X. L., Fu S. L. Diversity and function of soil fauna // *Acta Ecol. Sin.* 2015. N 35. P. 6614–6625. <https://doi.org/10.3390/insects13121103>
Zhang L., van Gestel C. A.M., Li Zh. Toxicokinetics of metals in the soil invertebrate *Enchytraeus crypticus* ex-

posed to field-contaminated soils from a mining area // *Environ. Pollut.* 2022. Vol. 300. 118874. ISSN 0269-7491, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.118874>
Zvereva E. L., Kozlov M. V. Responses of terrestrial arthropods to air pollution: a meta-analysis // *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2010. Vol. 17. P. 297–311.

The influence of the chemical composition of soil and vegetation on the soil mesofauna in the zone of impact of potash mining enterprises of the Middle Prikamye region

V. E. EFIMIK, N. V. MITRAKOVA, E. G. EFIMIK, S. L. ESYUNIN, G. Sh. FARZALIEVA

*Perm State University
614068, Perm, Bukireva str., 15*

An increase in technogenic impact and the need to conserve biodiversity has set us the task of assessing the baseline biodiversity in mining areas. The aim of this work is to investigate the state of mesofauna of invertebrate animals in the litter and topsoil of typical biotopes of the Middle and Southern taiga. This study is the first in the Perm Krai. The vegetation characteristics of the survey sites are based on field geobotanical descriptions, soil sampling method was used to collect invertebrates, and soil properties were studied using conventional methods. Taxonomic diversity and population structure of soil invertebrates was evaluated, vegetation was described, morphological and physical-chemical analysis of soils as well as correlation analysis of quantitative indicators of soil mesofauna with chemical properties of soils of surveyed sites was performed for the first time on 10 survey sites. All surveyed biotopes have typical for the Ural taiga zone floristic composition and fauna of litter and soil invertebrates. At the same time, vegetation synanthropization is pronounced in all studied forest and meadow phytocenoses. The composition, structure and abundance of invertebrate mesofauna in all studied biotopes depend on the phytocenosis type, litter composition and thickness, the degree of soil and litter moisture. Correlation analysis revealed a relationship between soil acidity level and quantitative indicators of Lumbricidae and Oniscidea. The natural communities studied are affected by anthropogenic factors such as land reclamation, changes in soil composition and structure caused by mechanical disturbances during road construction, etc.

Key words: soil mesofauna, swamp, meadow and forest ecosystems, potash production, Middle Prikamye region.