

ИССЛЕДОВАНИЯ В БАССЕЙНЕ БАЙКАЛА

УДК 574.9; 591.524

DOI: 10.15372/GIPR20240107

И.В. БАЛЯЗИН*, **

*Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН,
664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1, Россия, grave79@mail.ru

**Иркутский государственный университет,
664003, Иркутск, ул. К. Маркса, 1, Россия, grave79@mail.ru

СТРУКТУРА И ТАКСОНОМИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ЗООЦЕНОЗОВ ПОЧВ СЕВЕРНОГО ПРИБАЙКАЛЬЯ

Представлены результаты полевых исследований почвенной биоты на условно ненарушенных территориях, расположенных в северной части Прибайкалья (центральная экологическая зона Байкальской природной территории). Данная территория отличается высоким ландшафтным разнообразием, что обусловлено особенностями рельефа и связанными с этим климатическими условиями. Таким образом, на сравнительно небольшом участке встречаются разные геосистемы — от лугово-болотных до горно-степенных. Зооценозы почв, соответственно, также различаются, причем структура населения, средняя численность и биомасса позволяют оценивать сообщества по таксономическому разнообразию. Данный показатель характеризует не только состояние почвенного мезонаселения, но и его устойчивость к внешнему воздействию. В условиях ограниченной хозяйственной деятельности территории исследования можно рассматривать как своеобразный полигон для сравнительного анализа и оценки восстановительного потенциала зооценозов почв. Расчет таксономического разнообразия производился с помощью индекса Маргалафе, который позволяет связать две характеристики — численность и количество таксонов на единицу площади. На основе полученных расчетов выделено пять категорий таксономического разнообразия почвенных беспозвоночных — от очень низкого до высокого. С учетом высокого ландшафтного разнообразия территории пространственное распространение мезонаселения почв отражает полный спектр зооценозов региона. На численные характеристики мезонаселения почв влияют гидроклиматические условия, которые, в свою очередь, зависят от рельефа местности. Результаты исследования почвенной мезофауны, направленные на оценку таксономического разнообразия в пространственном аспекте, в дальнейшем планируется использовать как основу для картографического моделирования.

Ключевые слова: Северное Прибайкалье, ландшафты, пространственная структура мезонаселения беспозвоночных, почвенная биота, восстановительный потенциал.

I.V. BALYAZIN*, **

*V.B. Sochava Institute of Geography, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
664033, Irkutsk, ul. Ulan-Batorskaya, 1, Russia, grave79@mail.ru

**Irkutsk State University, 664003, Irkutsk, ul. K. Marks, 1, Russia, grave79@mail.ru

THE STRUCTURE AND TAXONOMIC DIVERSITY OF SOIL ZOOCENOSES IN NORTHERN CISBAIKALIA

This paper presents results of field studies into the soil biota in conditionally undisturbed territories located in the northern part of Cisbaikalia (central ecological zone). This territory is characterized by high landscape diversity, which is due to the peculiarities of the relief and, associated with this, local climatic conditions. Thus in a relatively small area of the territory there are various geosystems from meadow-marsh to mountain-steppe. Soil zoocenoses are accordingly also diverse, and the structure of the population, the average number and biomass make it possible to evaluate communities by taxonomic diversity. This indicator characterizes not only the state of the soil mezopopulation, but also its resistance to external influences. In conditions of

limited economic activity, this territory can be a kind of testing ground for comparative analysis and assessment of the restoration potential of soil zoocenoses. Taxonomic diversity was calculated using Margalef's index, which makes it possible to link two characteristics, the abundance and the number of taxa per unit area. Based on the calculations obtained, five categories of taxonomic diversity of soil invertebrates (from very low to high) were distinguished. Taking into consideration the high landscape diversity of the territory, the spatial distribution of soil mezopopulation reflects the full range of zoocenoses in the region. The numerical characteristics of the mezopopulation of soils are influenced by the hydroclimatic conditions of the territory which, in turn, depend on the terrain. Results from investigating the soil mezofauna aimed at assessing the taxonomic diversity in the spatial aspect are intended to be used as a basis for cartographic modeling in the future.

Keywords: Northern Cisbaikalia, landscapes, spatial structure of mezopopulation of invertebrates, soil biota, recovery potential.

Интерес к изучению почвенной мезофауны связан с проблемой устойчивости зооценозов и их зависимости от действия лимитирующих факторов, функционирования биоты в условиях перманентного усиления антропогенного прессинга. Все исследования сообществ почвенных беспозвоночных направлены на сохранение биоразнообразия. Результаты этих наработок широко освещаются в литературе, и внимание к проблемам экологического характера постоянно растет [1–5].

Ландшафтно-экологический облик Байкальского региона связан с прохождением границ ареалов многих видов растений и животных, а также с особенностями рифтовой зоны, способствующими образованию специфической ландшафтной структуры. Это создает предпосылки для формирования уникальных природных объектов с большим количеством редких видов. Для целей оптимального природопользования и сохранения биоразнообразия наземных экосистем необходим комплексный системный подход, включающий такие мероприятия, как выделение территорий с повышенным биотическим разнообразием, их инвентаризация, типология, разработка методов и критериев оценки разнообразия живых организмов на разных иерархических уровнях и организация мониторинга.

Ландшафтно-экологическая концепция сохранения биоразнообразия предполагает научно обоснованные формы антропогенной деятельности, направленные на сбережение и воспроизведение социально-экологических функций ландшафта, восстановление биотического потенциала территории путем снижения негативных воздействий на основе регламентации и нормирования хозяйственной деятельности, а также на дальнейшее развитие системы охраняемых территорий. Однако в настоящее время в бассейне оз. Байкал нет природных территорий, организованных специально для охраны редких насекомых, отсутствуют целевые программы по сохранению разнообразия беспозвоночных животных региона. Ранее проводились исследования зоологических комплексов беспозвоночных, но они были посвящены только определенным группам животных — люмбрикофаге, элатерофауне [6–8], карабидофауне [9–11], мирмекофауне [12, 13], однако комплексный состав населения беспозвоночных на данной территории в полной мере не изучен.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследования почвенной биоты в 2021 г. проводились на территории, прилегающей к северной части оз. Байкал (рис. 1). Всего было заложено 10 модельных участков с условно ненарушенным или длительно производным ландшафтным обликом. На каждом участке производился отбор материала по 6–8 проб (в зависимости от встречаемости беспозвоночных животных). Всего исследуемый материал был собран более чем с 70 почвенных разрезов, в которых отловлено почти 300 экземпляров беспозвоночных.

Зооценозы — это сообщества гетеротрофных немикроскопических беспозвоночных, населяющие почву, и сопряженные с ней субстраты, интегрирующие воздействие целого комплекса абиотических и биотических факторов. Структура почвенных зооценозов и пределы их таксономического разнообразия в пространственно-временном аспекте могут служить показателем устойчивости геосистем к внешним воздействиям и способности биоты к самовосстановлению [14].

Модельные участки выбирались с целью охвата многообразия ландшафтных выделов — от горно-степных до лугово-болотных геосистем. Методика сбора материала отвечает требованиям, предъявляемым к исследованиям почвенной фауны для получения статистически достоверного материала. Наиболее подходящим для этих целей является метод послойной разборки почв. При изучении почвенно-биотических сообществ основное внимание уделялось определению абсолютного количества крупных членистоногих, люмбрицид (Lumbriidae), энхитреид (Enchytraeidae) и других немикроскопических беспозвоночных, приходящихся на единицу площади. Обработка материала осуществлялась по единой методике с использованием как традиционных, так и современных подходов, и методов, ре-

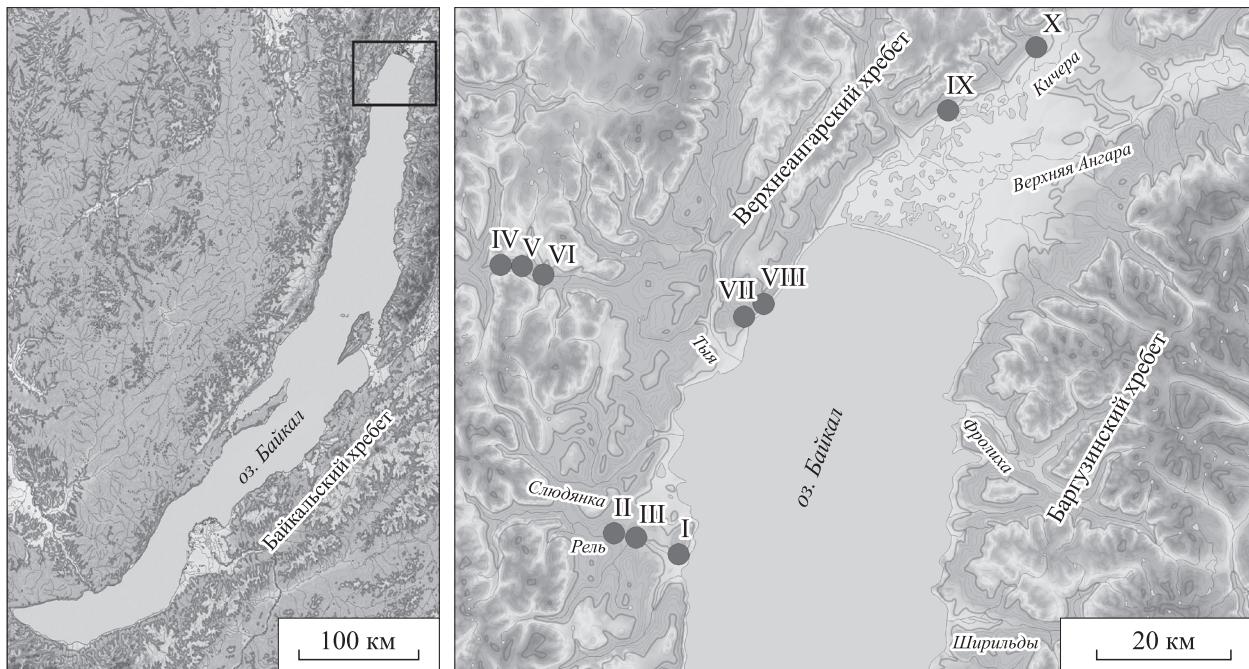


Рис. 1. Картосхема территории исследования.

I–X — номера модельных участков (см. текст). Прямоугольником выделена территория исследования.

комендованных для эколого-фаунистических, почвенно-зоологических, биогеоценологических и ландшафтно-экологических исследований.

Отбор почвенных проб осуществлялся в июне 2021 г., в наиболее оптимальные сроки развития личиночных стадий большинства беспозвоночных. При выборе площадей для отбора зоологических проб исходили из необходимости охвата наиболее различающихся по фитоэдафическому составу ландшафтов (рис. 2).

Модельные участки I–III находятся в районе с. Байкальское: I — петрофитная степь, расположенная на склонах южной экспозиции на карболовитоземах и темно-гумусовых горных почвах, режим увлажнения засушливый; II — сосново-лиственничный (*Larix sibirica* Ledeb, *Pinus sylvestris* L.) лес с примесью кедра (*Pinus sibirica* DuTour) на дерново-подбурах на выровненной поверхности высокой террасы р. Рель, режим увлажнения достаточный; III — мелколиственный лес с чозенией (*Chosenia arbutifolia* (Pall.) A.K. Skvortsov) и тополем (*Populus suaveolens* Fischer) с участием лиственницы (*Larix sibirica* Ledeb.) на аллювиальных почвах в пойме р. Рель, режим увлажнения избыточный.

Модельные участки IV–VI расположены на восточном макросклоне Байкальского хребта: IV — лиственничные редколесья с кедровым стлаником (*Pinus pumila* (Pallas) Regel), бересой растопыренной (*Betula divaricata* Ledeb.), местами с дущекией (*Duschekia fruticosa* (Rupr.) Pouzar) и баданом (*Bergenia crassifolia* (L.) Fritsch) на гребнях водоразделов и их крутых каменистых склонах с подзолистыми грубоскелетными почвами; V — лиственничные леса с подлеском из кедрового стланика на крутых склонах восточной экспозиции с суглинистыми каменистыми почвами; VI — пихтово-еловый лес с примесью мелколиственных пород в нижних частях пологих волнистых склонов теневых экспозиций с мерзлотно-таежными торфянисто-слабоподзолистыми почвами.

Модельные участки VII и VIII находятся в узкой прибрежной полосе горных склонов южной экспозиции Верхнеангарского хребта, между г. Северобайкальск и п. Нижнеангарск: VII — березово (*Betula platyphyla* Sukaczev)-лиственнично-сосновый ксерофитно-разнотравный остепненный лес на крутом каменистом освещенном склоне с почвами легкого механического состава; VIII — березово-осиновый (*Populus tremula* L.) остепненный лес в нижней части освещенного склона на шлейфе гор, антропогенная серия.

Модельные участки IX и X располагаются вне горно-подгорного обрамления оз. Байкал, на территории межгорного понижения Ангаро-Кичерской аккумулятивной равнины, в пойме р. Кичеры — притока Верхней Ангары: IX — лес с березами, ольхой (*Alnus hirsuta*) и чозенией в пойме р. Кичеры



Рис. 2. Модельные участки (I–X) на исследуемой территории.

с дерново-подзолистыми супесчаными почвами; X — осоково-вейниковый луг на прирусовом вале с суглинистыми влажными почвами.

Для определения основных численно-статистических данных педо- и герпетобионтов на каждой выбранной площади производился отбор 6–8 проб размером 25×25 см на глубине до 40 см (в зависимости от типа почв и толщины деятельного слоя беспозвоночных), что является общепринятым для исследований почвенной биоты [15]. При почвенно-зоологических исследованиях, направленных на изучение пространственно-временного распределения редких видов и групп животных и проявления отдельных факторов среды, наиболее целесообразен отбор 25–30 проб [16]. Отобранные образцы помещались в фиксатор из 70%-го этилового спирта с добавлением нескольких капель формалина. В дальнейшем производился разбор проб с помощью бинокулярного микроскопа и идентификация исследуемых экземпляров по таксономическим группам. Затем беспозвоночные взвешивались на аналитических весах с точностью не менее 1 мг. На терминальном этапе происходила фиксация численности и массы беспозвоночных с пересчетом на единицу поверхности (1 м^2) [15, 17]. На основе полученных данных определялось таксономическое разнообразие мезонаселения почв. Наиболее подходит для этих целей индекс разнообразия Маргалефа (D_{mg}), который рассчитывается на основе представленных выше данных. Этот индекс является простым показателем, который можно сравнивать с данными результатов, полученных на других пробных площадях. Индекс Маргалефа хорошо отражает изменения в структурно-численных характеристиках и позволяет фиксировать различия между местами обитания:

$$D_{\text{mg}} = (S - 1)/\ln N,$$

где S — число выявленных таксонов на пробной площади, N — общая численность особей почвенных беспозвоночных в исследуемом выделе. Величина D_{mg} отражает состояние таксономического разнообразия в сообществах как условно ненарушенных, так и антропогенно преобразованных ландшафтов, на основе чего можно производить оценку изменения любых компонентов среды [18].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На основе структурно-динамического анализа фитоэдафических особенностей исследуемой территории и связанных с ними комплексов беспозвоночных на геосистемном уровне выделяют две главные группы сообществ почвенных беспозвоночных. Отличительной чертой первой группы (мезотермогидрофильной) является незначительная доля насекомых в структуре населения при доминировании представителей малошестинковых олигохет. Во второй группе (ксерорезистентной), наоборот, наблюдается значительное участие представителей насекомых (жестокрылых (Coleoptera), перепончатокрылых (Hymenoptera) и т. д.). Первая группа комплексов почвенных беспозвоночных распространена преимущественно в таежных и лесных биогеоценозах, вторая группа характерна для оステненных и горных ландшафтов, в структуре населения которых превалируют представители класса насекомых, имеющих относительно короткий цикл развития и способных легко переносить дефицит влаги. В дифференциации структуры животного населения большую роль играют рельеф местности и конкретная экологическая обстановка. На склонах и повышенных элементах рельефа, где мало мощные и, как правило, щебнистые почвы подвергаются сильному ветровому воздействию и исщущению, формируются сообщества с невысокой численностью и биомассой. Относительно оптимальные условия обитания складываются в нижних частях склонов и на выровненных поверхностях, где ослабление ксероморфности в сочетании с более развитым растительным покровом благоприятно оказывается на структуре почвенных зооценозов.

При выборе таксономических рангов следует учитывать не только видовой состав, но и функционально-трофическую структуру. В таксономической группе пауков на южных оステненных склонах наиболее часто встречаются представители дневных хищников из семейства скакунчиков (Salticidae): пестрый скакунчик (*Salticus scenicus* Clerck, 1757) и азианеллус жизнерадостный (*Asianellus festivus* Koch, 1834), а также ночные хищники из семейства пауков-мешкопрядов (Clubionidae), прячущиеся среди камней (клубиона субсултанс (*Clubiona subsultans* Thorell)), проникающие из лесных сообществ. В лугово-болотных сообществах распространены охотник каемчатый (*Dolomedes fimbriatus*, Clerck, 1758) из семейства пауков бродячих (Pisauridae) и паук-разбойник (*Pirata piraticus*, Clerck, 1758) из семейства пауков-волков (Lycosidae). Данные виды ведут околоводный образ жизни. Среди эврибионтных видов можно отметить паука драссодеса (*Drassodes pubescens*, Thorell, 1856) из семейства гнафоз (Gnaphosidae), места обитания которого — от каменистых степей до заболоченных лугов, от светлохвойных лесов до

синантропных биотопов. Однако при оценке таксономического разнообразия рассмотрение пауков до уровня семейств не имеет большого значения, так как вся таксономическая группа представлена хищниками.

Принципиально другая ситуация — с представителями отряда жесткокрылых (Coleoptera), где различия в трофической структуре встречаются внутри подсемейств: они могут быть как хищниками, так и фитофагами и т. д. Яркий пример — семейство щелкунов (Elateridae). На исследуемой территории отмечены щелкуны подсемейств Elaterinae, Melanotinae, Athoinae и Corymbitinae. В большинстве случаев щелкуны являются всесядными педобионтами, однако некоторые представители имеют сильно выраженную фитофагию, например щелкун сибирский (*Selatosomus spretus* Mannh.). Для других личинок-миксогафов, таких как щелкун желтоногий (*Limonius parvulus* Panz.), характерна вариабельность в сторону гнилых растительных остатков и хищничества, повреждающего живые растения при отсутствии животной пищи или недостатке влаги. Щелкун шелковистый (*Prosternon tessellatum* L.) относится к группе хищников с хорошо выраженной некро- и сапрофагией, не повреждающих живые растения [19].

С учетом вышесказанного было принято решение, что в определении таксономического разнообразия для жесткокрылых целесообразно использовать уровень семейств, а для остальных групп использовать таксоны более высоких порядков, отражающих функционально-трофическую и общую структуру зооценозов. В распределении структуры животного населения одним из важнейших факторов является экологическая обстановка и рельеф местности. Крутые склоны и повышенные элементы

Таблица 1

Средняя численность почвенных беспозвоночных (экз/м²) по модельным участкам

Таксономическая группа	Участок									
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Тип кольчатые черви (Annelida), класс малощетинковые черви (Oligochaeta), семейство энхитреиды (Enchytraeidae)	—	12	8	—	—	12	—	15	12	—
Семейство люмбрициды (Lumbricidae)	—	—	14	—	2	10	—	14	9	12
Тип моллюски (Mollusca), класс брюхоногие (Gastropoda), отряд стебельчатоглазые (Stylommatophora), семейство хелициды (Helicidae)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4
Тип членистоногие (Arthropoda), класс равноногие (Isopoda), отряд сенокосцы (Opiliones)	—	—	—	—	2	—	—	—	—	—
Отряд пауки (Aranei)	8	4	—	—	4	—	2	4	6	4
Надкласс многоножки (Myriapoda), класс губоногие (Chilopoda), отряд геофилы (Geophilidae)	—	—	—	—	—	16	—	4	—	—
Отряд костянки (Lithobiidae)	4	4	—	—	—	—	6	14	5	—
Класс двупарногие (Diplopoda), отряд кивсяки (Julida)	—	—	—	—	—	—	—	4	—	—
Класс насекомые (Insecta), отряд полужесткокрылые (Hemiptera)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4
Отряд жесткокрылые (Coleoptera)	—	4	—	4	—	—	—	—	—	2
Семейство жужелицы (Carabidae)	4	4	6	8	2	4	5	6	2	8
Семейство пластинчатоусые (Scarabeidae)	—	—	—	—	4	—	—	—	8	—
Семейство долгоносики (Curculionidae)	—	—	—	—	—	—	—	2	2	—
Семейство щелкуны (Elateridae)	—	8	12	—	6	12	23	4	4	4
Семейство стафилиниды (Staphylinidae)	—	—	—	4	—	4	2	3	4	—
Отряд перепончатокрылые (Hymenoptera), подсемейство формицины (Formicinae)	12	8	10	8	14	—	12	6	14	8
Подсемейство мирмицины (Myrmicinae)	—	4	4	4	4	4	8	6	3	8
Отряд чешуекрылые (Lepidoptera), семейство совки (Noctuidae), подсемейство подгрызающие совки (Agrotinae)	—	4	—	—	2	4	—	1	2	—
Отряд двукрылые (Diptera), подотряд короткоусые (Brachycera)	—	10	4	4	2	8	—	2	—	8
Подотряд длинноусые (Nematocera)	—	8	—	—	2	4	—	—	6	—
Всего	28	70	58	32	44	78	58	85	79	60

Примечание. Здесь и в табл. 2: прочерк — не обнаружены.

рельефа, где распространены маломощные литоземные почвы, формируются зооценозы с низкими численными показателями и невысокой биомассой. Лимитирующее воздействие на формирование почвенно-биотических сообществ в горных областях связано не только с величиной обитаемого слоя, но и с коротким периодом с положительными температурами воздуха и почвы и нестабильным гидротермическим режимом. В конечном итоге это приводит к уменьшению величины тела беспозвоночных, упрощается структура населения, деформируется трофическая структура сообществ, изменяется специфика размножения беспозвоночных [20]. Наиболее оптимальные условия обитания сформированы в нижних частях склонов и на выровненных поверхностях, где снижается уровень ксероморфности и, следовательно, более развиты растительный покров и почвы, что находит отражение и в структурно-численных характеристиках почвенного населения.

В табл. 1 представлена средняя численность мезонаселения почв исследуемой территории. Наименьшая его плотность характерна для сухих степных склонов южной экспозиции и горных водораздельных участков. Наиболее обитаемые площадки относятся к темнохвойным и мелколиственным лесам на выровненных поверхностях. Сходная ситуация складывается и в отношении другой численной характеристики зооценозов почв — средней биомассы (табл. 2). Наиболее крупные почвенные беспозвоночные — люмбрициды — распространены преимущественно в лесных и луговых, хорошо

Таблица 2
Средняя биомасса почвенных беспозвоночных ($\text{мг}/\text{м}^2$) по модельным участкам

Таксономическая группа	Участок									
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Тип кольчатые черви (Annelida), класс малощетинковые черви (Oligochaeta), семейство энхитреиды (Enchytraeidae)	—	24	12	—	—	28	35	27	16	—
Семейство люмбрициды (Lumbricidae)	—	—	6080	—	2825	11 046	3464	1876	8014	2624
Тип моллюски (Mollusca), класс брюхоногие (Gastropoda), отряд стебельчатоглазые (Stylommatophora), семейство хелициды (Helicidae)	—	—	—	—	—	—	—	36	—	32
Тип членистоногие (Arthropoda), класс равноногие (Isopoda), отряд сенокосцы (Opiliones)	—	—	—	—	43	—	—	—	—	—
Отряд пауки (Aranei)	736	100	—	—	56	—	—	—	83	62
Надкласс многоножки (Myriapoda), класс губоногие (Chilopoda), отряд геофилы (Geophilidae)	—	—	—	—	24	116	38	19	0	—
Отряд костянки (Lithobiidae)	24	8	—	—	14	—	40	42	11	—
Класс двупарноногие (Diplopoda), отряд кивсяки (Julida)	—	—	—	—	—	—	65	33	—	—
Класс насекомые (Insecta), отряд полужесткокрылые (Hemiptera)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	48
Отряд жесткокрылые (Coleoptera)	—	2308	—	62	32	—	286	143	54	—
Семейство жужелицы (Carabidae)	80	248	224	86	201	284	—	—	191	484
Семейство пластинчатоусые (Scarabeidae)	—	—	—	—	341	—	36	18	536	—
Семейство долгоносики (Curculionidae)	—	—	—	—	—	—	38	36	37	—
Семейство щелкуны (Elateridae)	—	196	368	—	609	812	—	—	256	184
Семейство стафилиниды (Staphylinidae)	—	—	—	22	12	46	28	14	29	—
Отряд перепончатокрылые (Hymenoptera), подсемейство формицины (Formicinae)	286	248	224	42	103	—	—	20	56	32
Подсемейство мирмицины (Myrmicinae)	—	8	12	12	21	12	24	12	14	16
Отряд чешуекрылые (Lepidoptera), семейство совки (Noctuidae), подсемейство подгрызающие совки (Agrotinae)	—	262	—	—	163	645	32	16	270	—
Отряд двукрылые (Diptera), подотряд короткоусые (Brachycera)	—	232	32	22	—	128	—	—	—	104
Подотряд длинноусые (Nematocera)	—	508	—	—	210	202	—	18	640	—
Всего	1126	4142	6952	246	4654	13 319	4086	2309	10 206	3586

увлажненных биогеоценозах, нередко на их долю в общей биомассе сообществ приходится до 80–90 % от общего веса беспозвоночных.

Средняя биомасса беспозвоночных увеличивается в лесных сообществах от наиболее обеспеченных влагой к менее увлажненным биогеоценозам, а на безлесных участках — от сухих к влажным. Численность беспозвоночных на пробных площадях профиля варьирует от 28 до 85 экз/м², таксономическое разнообразие групп — от 4 до 14. Присутствие многих групп беспозвоночных, и в первую очередь крупных сапрофагов, зависит от эдафических и микроклиматических условий мест обитания.

Структурный состав мезонаселяния почв исследуемой территории отражает состояние сообществ почвенных беспозвоночных, на основе которых производится оценка таксономического разнообразия (рис. 3). Как отмечалось выше, в структуре мезонаселяния выделяются две группы. Первую составляют мезотермогигрофильные сообщества с большим набором таксономических групп беспозвоночных, куда входят малощетинковые черви: люмбрициды, энхитреиды, моллюски (Gastropoda; членистоногие из классов равноногих: сенокосцы (Opiliones), пауки (Aranei); многоножки: губоногие (Chilopoda), двупарногие (Diplopoda). Во второй группе — ксерорезистентной — доминируют насекомые: полужесткокрылые (Hemiptera), жесткокрылые (Coleoptera), перепончатокрылые (Hymenoptera), чешуекрылые (Lepidoptera), двукрылые (Diptera).

На рис. 4 представлены результаты расчета индекса таксономического разнообразия (D_{mg}) и основные численные характеристики почвенной мезофауны для исследуемой территории. Категории таксономического разнообразия подразделяются по пятибалльной шкале. Очень низкое разнообразие ($D_{mg} < 1$) отмечено на остеиненных склонах горных ландшафтов. Низкое таксономическое разнообразие ($D_{mg} = 1–1,5$) присуще зооценозам горных геосистем северной экспозиции и прирусловых террас горных рек. Среднее таксономическое разнообразие ($D_{mg} = 1,5–2$) свойственно ландшафтам низинных лугов. Относительно высоким разнообразием ($D_{mg} = 2–2,5$) характеризуются геосистемы светло- и темнохвойных лесов, а наибольшим уровнем ($D_{mg} > 2,5$) — мелколиственные лесные ландшафты.

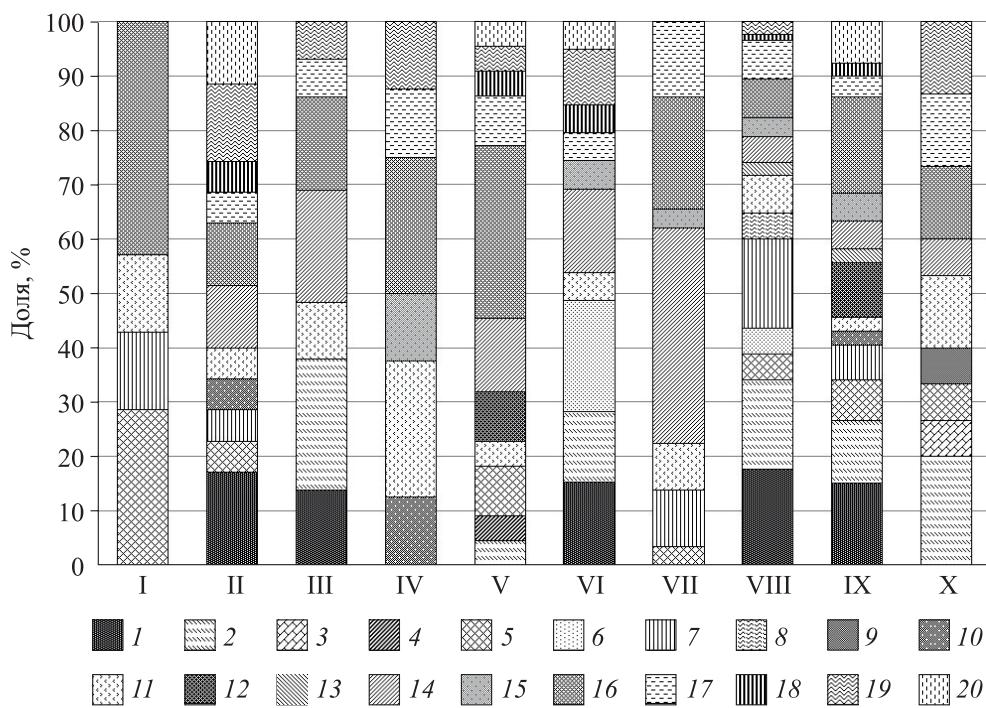


Рис. 3. Структура зооценозов почв Северного Прибайкалья по таксономическим группам.

Группы беспозвоночных: 1 — энхитреиды (Enchytraeidae), 2 — люмбрициды (Lumbricidae), 3 — моллюски (Mollusca), 4 — сенокосцы (Opiliones), 5 — пауки (Aranei), 6 — геофилы (Geophilidae), 7 — костянки (Lithobiidae), 8 — кивсяки (Julida), 9 — полужесткокрылые (Hemiptera), 10 — жесткокрылые (Coleoptera), 11 — жужелицы (Carabidae), 12 — пластиначатоусые (Scarabaeidae), 13 — долгоносики (Curculionidae), 14 — щелкуны (Elateridae), 15 — стафилины (Staphylinidae), 16 — формицины (Formicinae), 17 — мирмицины (Myrmicinae), 18 — чешуекрылые (Lepidoptera), 19 — короткоусые (Brachycera), 20 — длинноусые (Nematocera). I–X — номера модельных участков (см. текст).

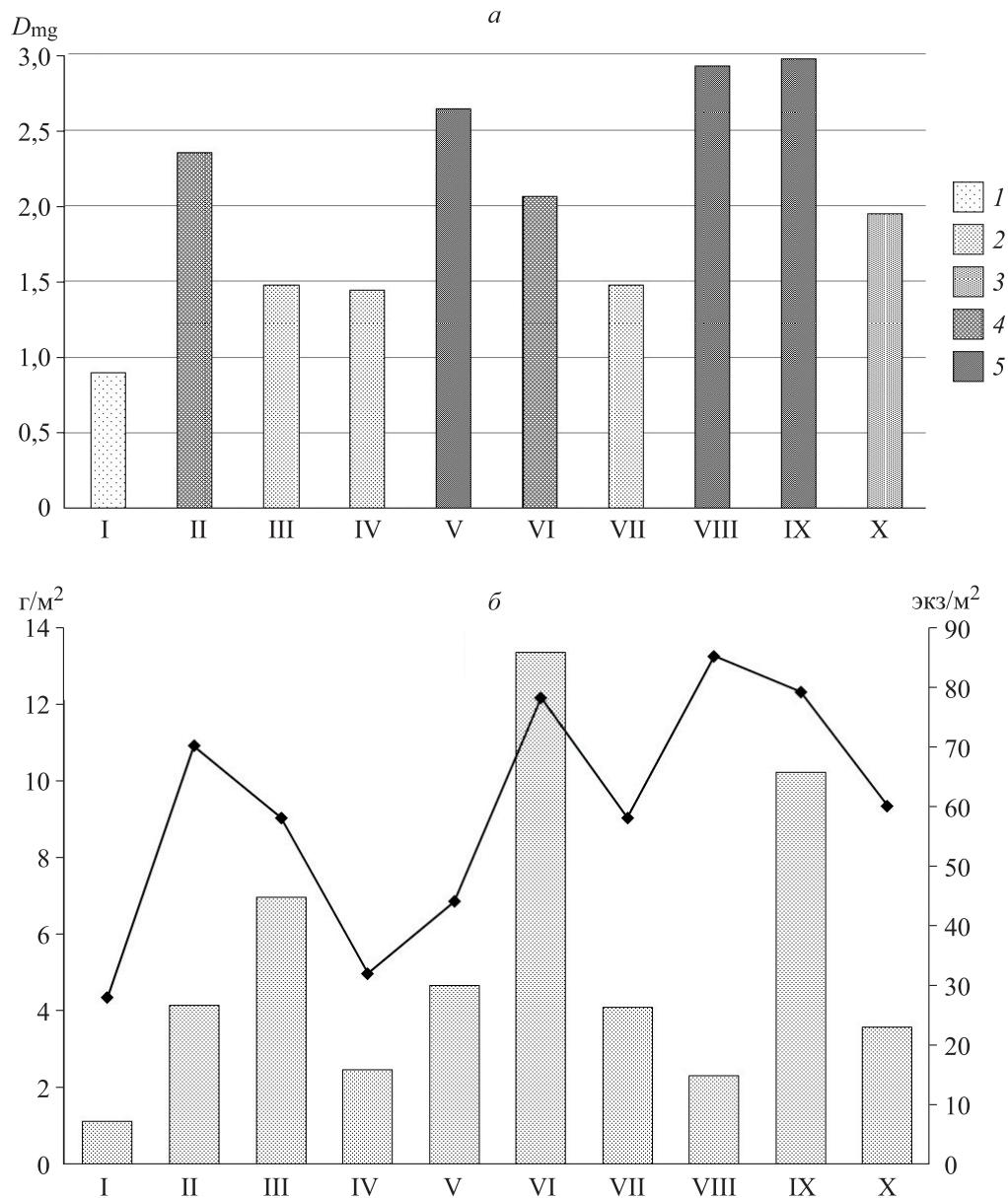


Рис. 4. *a* — таксономическое разнообразие (D_{mg}), *б* — биомасса (1) и численность (2) почвенных зооценозов.

Таксономическое разнообразие: 1 — очень низкое, 2 — низкое, 3 — среднее, 4 — относительно высокое, 5 — высокое. I—X — номера модельных участков (см. текст).

Основная часть территории исследования расположена в горной местности, где отмечается низкое и среднее таксономическое разнообразие при невысокой численности и средней биомассе сообществ почвенных беспозвоночных. Локальное соотношение тепло- и влагообеспеченности, которые, в свою очередь, обусловлены мезо- и микрорельефом, экспозицией склонов, растительностью и физико-химическими свойствами почв, оказывает прямое воздействие на специфику структурной организации почвенной биоты. Повсеместно на исследуемой территории возрастает антропогенное влияние, что приводит к изменению ландшафтного облика территории. При этом наиболее уязвимы к такому воздействию горные геосистемы. Горные ландшафты, как правило, имеют слабо развитый почвенный покров, что отражается и в структуре зооценозов, который представлен только герпетобионтами. Отличительной чертой герпетобионтов является их повышенная экологическая подвижность и способность распространяться на относительно большие расстояния, что в конечном итоге отражается на таксономическом разнообразии и биомассе почвенных зооценозов.

ется на значительной скорости восстановления зооценозов почв до фоновых значений даже при интенсивном воздействии различных факторов антропогенной и естественной природы.

Зооценозы почв горно-лесных ландшафтов сохраняют ядро доминантов, характерных для почв зональных таежных геосистем: энхитреиды, люмбрициды, пауки, многоножки, жесткокрылые, двукрылые, что связано с благоприятными почвенно-климатическими условиями на модельных участках. Воздействие температуры на количественные характеристики зооценозов почв непосредственно зависит от влажности почвы. Для сообществ, где наблюдается преобладание мезотермогигрофильных почвенных сапрофагов, влажность играет ведущую роль. Самое высокое таксономическое разнообразие отмечается в биогеоценозах со средними показателями влажности почвы, снижение разнообразия происходит в наиболее сухих и влажных почвах.

В то же время распространение некоторых типов геосистем на территории исследования ограничено. Например, лесостепные и степные ландшафты приурочены только к склонам южной экспозиции, из-за чего ареал местообитания комплексов почвенных беспозвоночных имеет значительные разрывы между сходными зооценозами. При нарушениях растительно-почвенного покрова в таких выделах возникает высокая вероятность снижения таксономического разнообразия до критического уровня, при котором восстановительные процессы носят долговременный характер, а в некоторых случаях происходит полная замена состава населения на виды с широким экологическим диапазоном.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При организации экологического мониторинга, особенно в отношении биологического разнообразия Байкальского региона, важно опираться на научные рекомендации и разработки, основанные на последних достижениях в исследовании конкретных экосистем, их особенностей существования, развития и динамических преобразований. С этой задачей можно справиться, применяя комплексный подход, который должен включать в себя наиболее важные аспекты сохранения биоразнообразия: выделение территорий с повышенным биотическим разнообразием, их инвентаризацию, типологию, по возможности картографическое моделирование, а также разработку методов и критериев оценки разнообразия живых организмов на разных иерархических уровнях и организацию мониторинга за ними.

Данная работа лишь первоначальный этап исследования. Изучение структуры и таксономического разнообразия зооценозов почв Байкальского региона — важное и необходимое направление в биогеографии, позволяющее понять, как функционируют, развиваются и эволюционируют почвенно-биотические сообщества Байкальской Сибири. Значительное разнообразие ландшафтных выделов и их крайне неравномерное распределение по территории исследования предопределяет и высокую степень разнообразия зооценозов почв. Структура и таксономическое разнообразие населения почвенных беспозвоночных варьируют в широких пределах, четко отражая особенности распространения почвенно-растительных ассоциаций региона.

Работа выполнена за счет средств государственного задания (AAAA-A21-121012190059-5).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Cheeke T.E., Schneider M., Saify A., Brauner M. Role of soil biota in grassland restorations in high nutrient soils // Restoration Ecology. — 2021. — Vol. 30 (4) [Электронный ресурс]. — <http://doi:10.1111/rec.13549> (дата обращения 24.03.2022).
2. Lundell S., Batbaatar A., Carlyle C., Lamb E.G. Plant responses to soil biota depend on precipitation history, plant diversity, and productivity // Ecology. — 2022. — Vol. 103 (10) [Электронный ресурс]. — <http://doi:10.1002/ecy.3784> (дата обращения 31.03.2022).
3. Smith R.G., McSwiney C.P., Grandy A.S., Suwanwaree P., Snider R.M., Robertson G.P. Diversity and abundance of earthworms across an agricultural land-use intensity gradient // Soil & Tillage Research. — 2008. — Vol. 100 (1–2). — P. 83–88. — DOI: 10.1016/j.still.2008.04.009
4. Usman S., Muhammad Y., Chiroman A.M. Roles of soil biota and biodiversity in soil environment — A concise communication // Eurasian Journ. of Soil Science. — 2016. — Vol. 5 (4). — P. 255–265.
5. Klink R. van, Bowler D.E., Comay O., Driessen M.M., Ernest M.S.K., Gentile A., Gilbert F., Gongalsky K.B., Owen J., Pe'er G., Pe'er I., Resh V.H., Rochlin I., Schuch S., Swengel A.B., Swenge S.R., Valone T.J., Vermeulen R., Wepprich T., Wiedmann J.L., Chase J.M. Insect Change: A global database of temporal changes in insect and

- arachnid assemblages // *Ecology*. — 2021. — Vol. 102, Is. 6 [Электронный ресурс]. — <http://doi.org/10.1002/ecy.3354> (дата обращения 30.01.2023).
6. **Бессолицына Е.П.** Эколо-географические закономерности распределения дождевых червей (Oligochaeta, Lumbricidae) в ландшафтах юга Средней Сибири // *Экология*. — 2012. — № 1. — С. 70–73.
 7. **Бессолицына Е.П.** Ландшафтно-экологические закономерности распределения дождевых червей (Oligochaeta, Lumbricidae) в почвах юга Средней Сибири // *Сиб. экол. журн.* — 2013. — № 1. — С. 27–36.
 8. **Бессолицына Е.П.** Закономерности распространения элатерид (Coleoptera, Elateridae) в ландшафтно-экологическом диапазоне Байкальского региона // *Изв. Иркут. ун-та. Сер. Науки о Земле*. — 2019. — Т. 28. — С. 21–33.
 9. **Шиленков В.Г., Ананина Т.Л.** Материалы по фауне жужелиц (Coleoptera, Carabidae) Баргузинского заповедника // *Биоразнообразие Байкальского региона. Труды биол.-почв. факультета ИГУ*. — 2001. — Вып. 5. — С. 26–41.
 10. **Шиленков В.Г.** Редкие жужелицы (Coleoptera, Carabidae) Байкальского региона и принципы охраны насекомых // *Изв. Иркут. ун-та. Сер. Биология. Экология*. — 2010. — Т. 3, № 1. — С. 37–41.
 11. **Шиленков В.Г.** Материалы по фауне жужелиц (Coleoptera, Carabidae) Байкало-Ленского заповедника // *Байкал. зоол. журн.* — 2014. — № 2 (15). — С. 122–123.
 12. **Антонов И.А., Плешанов А.С.** Эколо-географические особенности мирмекофауны Байкальского региона // *Вестн. Бурят. ун-та*. — 2011. — № 4. — С. 104–108.
 13. **Антонов И.А.** Дополнение к мирмекофауне (Hymenoptera, Formicidae) Байкальской Сибири // *Зоол. журн.* — 2013. — Т. 92, № 8. — С. 991–993.
 14. **Bessolitsyna E.P.** Structure and functioning of soil zoocenoses of taiga ecosystems of the Lena–Angara plateau // *Geography and Natural Resources*. — 2008. — Vol. 29 (4). — P. 358–362.
 15. **Гиляров М.С.** Учет крупных беспозвоночных (мезофауна) // *Количественные методы в почвенной зоологии*. — М.: Наука, 1987. — С. 9–18.
 16. **Покаржевский А.Д., Гонгальский К.Б., Зайцев А.С.** Пространственная экология почвенных животных. — М.: Т-во науч. изданий «КМК», 2007. — 175 с.
 17. **Бабенко А.С., Булатова У.А., Нужных С.А.** Методы учета почвенных беспозвоночных: Уч.-метод. пособие. — Томск: Изд-во Том. ун-та, 2010. — 55 с.
 18. **Дунаев Е.А.** Методы эколого-энтомологических исследований. — М.: МосгорСЮН, 1997. — 44 с.
 19. **Самойлова Е.С.** Особенности экологии питания личинок жуков-щелкунов (Coleoptera, Elateridae) со смешанными пищевыми режимами: Автoreф. дис. ... канд. биол. наук. — М., 2016. — 27 с.
 20. **Levy R.A., Nufio C.R.** Dispersal potential impacts size clines of grasshoppers across an elevation gradient // *Oikos*. — 2015. — Vol. 124, Iss. 5. — P. 610–619.

Поступила в редакцию 03.02.2023

После доработки 24.03.2023

Принята к публикации 23.11.2023