

**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. Карла Маркса, 1, Россия, grave79@mail.ru

## ПРИМЕНЕНИЕ КАРТОГРАФИЧЕСКОГО МЕТОДА ПРИ ОЦЕНКЕ ТАКСОНОМИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ СООБЩЕСТВ ПОЧВЕННЫХ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ

*Рассматривается применение сравнительно-географического метода при исследовании почвенно-биотических сообществ Тункинской котловины для целей картографического моделирования пространственно-временного состояния таксономического разнообразия зооценозов почв. Для оценки текущего состояния почвенной биоты предлагается использовать индекс Маргалефа, величина которого фиксирует значение количества таксонов с общей численностью в сообществах почвенных беспозвоночных. Пределы этих изменений дают возможность выделить равномерную шкалу с пятью категориями разнообразия. Функционально-трофическая структура зооценозов почв с выделением доминирующих видов педобионтов позволяет определить оптимальный состав коренного населения биоценозов, а также понять механизмы восстановления при снижении антропогенного воздействия. Полученные обобщенные данные необходимо отобразить на картографической модели. Для этого предлагается использовать ландшафтную основу, которая, в свою очередь, отражает как особенности рельефа, так и совокупность комплекса природных факторов — от гидро-термических условий до фитоэдафического облика исследуемой территории. В целом результаты исследования можно применять для своевременных решений, направленных на сохранение биологического разнообразия региона, что является одним из главных принципов мировой экологии. Сделана попытка соединения и анализа теоретических и методологических знаний по почвенной зоогеографии и ее практического применения с возможностью дальнейшего развития — симбиоза со смежными отраслями географии, биологии и картографии. Результаты работы можно применять при планировании мер оптимального природопользования с выходом на следующий, прогнозный уровень, позволяющий управлять процессами, происходящими внутри экосистемы региона.*

**Ключевые слова:** тематическое картографирование, категории биоразнообразия, индекс Маргалефа, сообщества почвенных беспозвоночных, сравнительно-географический подход.

**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. Karla Marksa, 1, Russia, grave79@mail.ru

## USING THE CARTOGRAPHIC METHOD IN ASSESSING TAXONOMIC DIVERSITY OF SOIL INVERTEBRATE COMMUNITIES

*This paper considers the use of the comparative-geographical method in investigating soil-biotic communities from the Tunka depression, for the purposes of cartographic modeling of the spatio-temporal state of taxonomic diversity of soil zoocenoses. To assess the current state of the soil biota, it is proposed to use the Margalef index which implies the value of the number of taxa with a total abundance in soil invertebrate communities. The limits of these changes make it possible to single out a uniform scale with five categories of diversity. The functional and trophic structure of soil zoocenoses with the identification of dominant species of pedobionts permits determination of the optimal composition of the indigenous population of biocenoses as well as understanding the mechanisms of recovery with a decrease in anthropogenic impacts. The generalized data obtained should be represented on a cartographic model. To do this, it is proposed to use a landscape basis which, in turn, reflects both the terrain features and the totality of the set of natural factors: from hydrothermal conditions to the phytosedaphic appearance of the study area. In general, the results of the study can be used for timely decisions aimed at preserving biological diversity of the region, which, in turn, is one of the main principles of world ecology. An attempt is made to combine and analyze theoretical and methodological knowledge of soil zoogeography and its practical application with the possibility of further development of a*

*so-called symbiosis with related branches of geography, biology and cartography. The results of the research can be used in planning measures for optimal nature management with access to the next level, i. e. the predictive level, which permits management of the processes occurring within the ecosystem of the region.*

**Keywords:** thematic mapping, biodiversity categories, Margalef index, soil invertebrate communities, comparative geographic approach.

Структура почвенной мезофауны формируется в соответствии со спецификой ландшафтно-климатических условий и определяется степенью средообразующего влияния растительности и физико-химических свойств почвенного субстрата, его влажности и температуры. Мезонаселение почв отражает метаболизм экосистемы, поскольку в нем сочетаются все биогеохимические процессы различных компонентов экосистемы; по этой причине изменение качества почвы считается важным критерием для оценки устойчивости экосистем. Почвенная биота является неотъемлемой частью всемирного биоразнообразия и играет одну из ключевых ролей в функционировании почвенной экосистемы. С помощью особенностей структурно-функциональной организации зооценозов почв можно идентифицировать качество почв [1–5].

Пространственное распределение почвенной мезофауны по территории неоднородно, а условия, при которых происходит ее формирование, находятся под лимитирующим воздействием внешних факторов. Возникает необходимость построения визуальной модели. Наиболее подходит для этих целей картографическая модель территории с отображением особенностей распределения таксономического разнообразия зооценозов почв. Группировки почвенных животных не имеют видимых границ, поэтому для построения картосхем зоогеографического содержания необходимо применять возможности ландшафтной индикации. За основу в ландшафтоведении принято брать теоретические представления, в которых все природные компоненты в пределах исследуемого генетически однородного пространства находятся в тесной взаимосвязи и образуют целостные системы [5].

## РАЙОН И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводились на территории Тункинской котловины и ее горного обрамления. Перепад уровня высот составляет 1300–2300 м. Вследствие этого в котловине выражены закономерности, характерные для высотной поясности, такие как смена растительности от лесостепной до альпийских лугов, с набором высоты и экспозиционной направленностью склонов. Своеобразие экологических условий Тункинской котловины способствовало развитию мозаичности почвенного покрова и многочисленных по составу биотических сообществ с высокой степенью разнообразия фауны [6]. В рамках данной статьи будут рассмотрены зооценозы почв, приуроченные к светлохвойным лесам, расположенным в центре котловины и на южных пологих склонах нижней части горного обрамления, а также к сосново-кедровым с лиственницей и березой [7–9]. Отбор проб на модельных участках производился по методикам, рекомендованным для биогеоэкологических [10] и почвенно-зоологических [11] исследований.

Карта обладает свойством, которое отличает ее от математической и любой другой модели: она визуализирует территориальную конкретность. Карта не только абстрактная знаковая, но и аналоговая модель действительности [12]. Особенности картографирования животного мира определяются спецификой исследования животных. В связи с этим предпочтительно брать за основу ландшафтную карту, которая, в свою очередь, опирается на данные в том числе карт распространения растительности и почв исследуемой территории [13].

При применении картографических методов до настоящего времени используются данные дистанционного зондирования земной поверхности, накопленные на протяжении десятков лет. Продолжительный ряд тематических сценариев дает возможность сравнивать и оценивать как динамические аспекты развития антропогенно преобразованных ландшафтов, так и особенности произвольного восстановления при снятии нагрузки. Таксономическое разнообразие зооценозов почв находится в прямой зависимости от фитоценологических и почвенно-климатических факторов, которые варьируют в зависимости от местоположения биогеоценоза в ландшафте.

Для оценки таксономического разнообразия необходим универсальный инструмент, позволяющий фиксировать различия между биоценозами и в то же время учитывать уровень численности и количество таксономических групп в биоценозе. Наиболее подходит для этих целей, по нашему мнению, индекс богатства Маргалефа ( $D_{mg}$ ), используемый при оценке биоразнообразия:

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

где различные сочетания  $S$  (число выявленных таксонов) и  $n$  (общее число особей всех  $S$  видов) лежат в основе простых показателей биоразнообразия. Достоинство этого индекса — легкость расчетов. Большая величина индекса соответствует большему разнообразию [10].

Индекс биоразнообразия при длительных сроках наблюдения не только позволяет оценивать различия между комплексами почвенных беспозвоночных, но может стать инструментом для определения устойчивости зооценозов к изменению микроклиматических условий. Данные, полученные при многолетнем мониторинге территории, дают возможность выйти на прогнозный уровень, учитывающий в том числе и серийные состояния ландшафта, и степень проявления упругости зооценозов почв к антропогенному и другому типу вмешательства. Соответствие структуры почвенных зооценозов определенному спектру эдафических условий, обеспечивающих нормальную жизнедеятельность почвообитающих организмов, трактуется с позиций ландшафтно-типологического подхода, предполагающего сопоставление и последующую идентификацию сообществ почвенных беспозвоночных конкретным условиям среды их обитания по следующим типам сообществ: высокогорные, таежные и лесные, лесостепные, луговые и гидрофильные [14].

Диапазон таксономического разнообразия удобнее всего рассматривать с помощью 5-балльной шкалы с равномерным увеличением категорий разнообразия от очень низкого до очень высокого. В каждой группе по количеству таксономических единиц в сообществе выделяется пять категорий разнообразия структуры: 1 — очень низкое разнообразие ( $D_{mg} < 1$ ); 2 — низкое (1,0–1,5); 3 — среднее (1,5–2,0); 4 — высокое (2,0–2,5); 5 — очень высокое ( $D_{mg} > 2,5$ ). В настоящей работе использована 4-балльная шкала.

Таксономическое разнообразие сообществ беспозвоночных на уровне групп фаций изменяется главным образом в зависимости от эдафо-климатических и фитоценологических факторов, которые определяются местоположением биогеоценоза в ландшафте. По степени естественной изменчивости, обусловленной особенностями функционирования ландшафта, различаются фации пяти категорий — коренные, полукоренные, мнимокоренные, полусерийные и серийные.

Полученные данные систематизируются, оценивается состояние таксономического разнообразия для конкретных ландшафтных выделов на основе объединения в пять групп сообществ. После этого информация проецируется на карту ландшафтного разнообразия исследуемой территории, и формируется модель пространственного распределения таксономического разнообразия сообществ почвенных беспозвоночных.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

По степени связи с почвой педобионты подразделяются на следующие группы: геобионты — животные, вся жизнь которых проходит в почве; геофилы — животные, часть жизненного цикла которых связана с почвой; геоксены — животные, связанные с почвой случайно или используют ее в качестве убежища (рис. 1) [13]. В пределах разных систематических групп беспозвоночных животных выделяются разнообразные жизненные формы.

Геобионты — организмы, очень хорошо приспособленные к жизни в почве и неспособные существовать вне почвенной среды из-за отсутствия у них защиты от высыхания и температурных колебаний, а также органов чувств, необходимых для жизнедеятельности.

Периодические геофилы проводят часть своего жизненного цикла в почве, как правило в виде личинок. Время от времени они возвращаются в почву для выполнения различных действий, таких как охота, откладывание яиц или спасение от опасностей. Некоторые группы жесткокрылых (например, жуки-жужелицы) проводят свою личиночную стадию в подстилке или верхних слоях почвы, а во взрослом состоянии используют почву в качестве источника пищи, убежища и для других целей.

К геоксенам относятся беспозвоночные, использующие почву в качестве временного места обитания. Из насекомых геоксены представлены полужесткокрылыми (Hemiptera), а также некоторыми развивающимися вне почвы жуками [3].

По отношению к почвенному субстрату можно выделить следующие виды: транзитные — используют почву как кратковременные или переходные места обитания и убежища; облигатные — часть их жизненного цикла связана с поверхностью почвы либо они проводят определенные циклы в почве. Дополнительно по глубине обитания в почве зооценозы почв можно подразделить на гемизафон (обитатели подстилочного слоя и верхней части почвенного горизонта) и эузафон (группа обитателей собственно нижней части почвенно-обитаемого горизонта). По характеру питания почвенные животные подразделяются на следующие группы: зоофаги, фитофаги, миксофаги, некрофаги и сапрофаги [15].

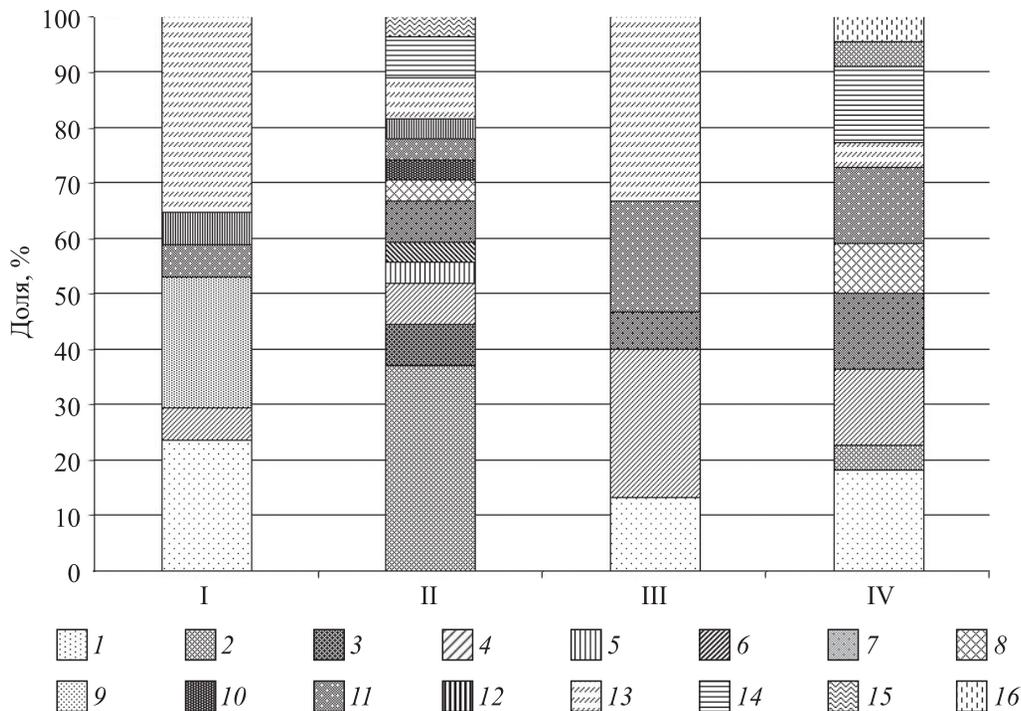


Рис. 1. Структура сообществ почвенных беспозвоночных.

I–IV — номера модельных участков (см. текст). Группы беспозвоночных: 1 — энхитреиды (Enchytraeidae), 2 — любрициды (Lumbricidae), 3 — хелициды (Helicidae), 4 — пауки (Aranei), 5 — сенокосцы (Opiliones), 6 — геофилы (Geophilidae), 7 — костянки (Lithobidae), 8 — кивсяки (Julida), 9 — жуличицы (Carabidae), 10 — пластинчатоусые (Scarabaeidae), 11 — шелкуны (Elateridae), 12 — стафилиниды (Staphylinidae), 13 — формицины (Formicidae), 14 — мирмицины (Mymecinae), 15 — короткоусые (Brachycera), 16 — длинноусые (Nematocera).

В качестве первоначальной основы для оценки таксономического разнообразия зооценозов выбраны четыре модельных участка в разных частях котловины с различной степенью нарушенности.

Модельный участок I находится на южном пологом склоне и представляет собой сосновый лес с единичными экземплярами березы разнотравный, местами кустарничково-разнотравный (зарастающая пашня) со следами низовых пожаров и выпаса скота на дерновых слабоподзолистых почвах.

Модельный участок II приурочен к восточному пологосклонному предгорью в сосново-кедровом с лиственницей и березой бруснично-зеленомошном лесу с папоротником на дерновых лесных почвах. Этот участок, согласно данным дистанционного зондирования Земли, наиболее приближен к естественному состоянию и относится к мнимокоренной группе фаций.

Модельный участок III расположен в центральной части котловины и представляет собой свежую гарь с подростом из сосны на серых лесных почвах. Время, прошедшее после пожара, составляет менее десяти лет.

Модельный участок IV находится в спелом и перестойном сосновом лесу со среднемощными серыми лесными (проградированными) и дерново-слабоподзолистыми почвами и подростом преимущественно из спиреи. Данный участок, в отличие от участка III, в течение длительного периода не подвергался низовому пожару большой интенсивности, и его можно назвать условно ненарушенным ландшафтом.

На рис. 1 представлена структура сообществ почвенных беспозвоночных на модельных участках. Структура населения отражает в первую очередь комплекс фитоэдафических условий и особенностей рельефа, на который накладывается влияние гидроклиматических факторов, однако важна и степень преобразования ландшафтного облика территории. Рассмотрим различия в видовом составе согласно связям беспозвоночных с почвой. Ниже представлены наиболее характерные виды для данных зооценозов почв.

На участке I среди широко представленных видов отмечаются пауки (Aranei): ксероликоза миниата (*Xerolicoxa miniata* (Koch, 1834)) из семейства пауков-волков (Lycosidae); жесткокрылые (Coleoptera):

калодера лаппонская (*Calodera lapponica* (Sahlberg, 1876)) из семейства стафилинид (Staphilinidae), скакун изящный (*Cylindera gracilis* (Pallas, 1773)), бегун широкий (*Harpalus latus* (Linnaeus, 1758)) и крестоцветный тусляк (*Amara ovata* (Motsch., 1844)) из семейства жужелицы (Carabidae)), шелкун блестящий (*Selatosomus aeneus*) из семейства шелкунов (Elateridae)); отряд перепончатокрылых (Hymenoptera): муравьи черный лазий (*Lassius niger* (Lin., 1758)), желтый земляной муравей (*Lassius flavus* (Fabricius, 1782)), бурый лесной муравей (*Formica fusca* (Lin., 1758)).

Максимальное таксономическое разнообразие почвенных беспозвоночных отмечено на модельном участке II. Наибольшая численность характерна для сапрофагов — семейства люмбрицид (Lumbricidae) эйзения норденшельда (*Eisenia nordenskioldi* (Eisen, 1879)). Из моллюсков (Mollusca) встречается валлония тонкогубая (*Vallonia tenuilabris* (Braun, 1843)). Губоногие многоножки (Chilopoda) — отрядом костянок (Lithobidae): костянка сибирская (*Lithobius sibiricus* (Gerstfeldt, 1858)), костянка родственная (*L. proximus* (Sselivanoff, 1878)), а также отрядом геофилов (Geophilidae): геофил длинноусый (*Geophilus flavus* (De Geer, 1778)). Среди пауков встречаются семейства гнафозид (Gnaphosidae): драссодес пушистый (*Drassodes pubescens* (Thorell, 1856)), семейства скакунчиков (Salticidae): эварха радужная (*Evarcha arcuata* (Clerck, 1757)). Среди жуков встречаются стафилином тахинопорус-недотрога (*Tachyporus nitidulus* (Fabricius, 1781)), пластинчатоусыми: (Scarabeidae) сибирский зеленый хрущик (*Mimela (Rhombonyx) holosericea* (Fabricius, 1787)), шелкунами: шелкун окаймленный *Dolopius marginatus* (Lin., 1758). Среди муравьев встречаются волосистый лесной муравей (*Formica lugubris* (Zetterstedt, 1838)) и мирмика сульцинодис (*Myrmica sulcinodis* (Nylander 1846)). Отряд двукрылых (Diptera) представлен подотрядом короткоусых (Brachycera): бекасница обыкновенная (*Ragio scolopaceus* (Linnaeus, 1758)) из семейства бекасницы (Rhagionidae).

Модельный участок III представляет собой гарь после низового пожара высокой интенсивности, приведшего к гибели практически всей древесной растительности. Структура населения почвенных беспозвоночных сильно упрощена. Слаборазвитый травянистый и кустарничковый покров, обилие открытых пространств приводит к резкому увеличению популяций муравьев. Это привлекает большое количество хищников — пауков, среди которых представлены линифии треугольные (*Linyphia triangularis* (Clerck, 1758)) из семейства линифий (Liphinidae); ксистикус незаметный (*Xysticus obscurus* (Collett, 1877)) из семейства пауков-бокоходов (Thomisidae); алопекоза жалящая (*Alopecosa aculeata* (Clerck, 1758)), алопекоза клинообразная (*A. cuneata* (Clerck, 1758)), паук-леопард полевой (*Pardosa agrestis* (Westring, 1861)) из семейства пауков-волков. Среди жуков доминирует вид шелкуна сибирского (*Selatosomus spretus* (Mannh.)). Муравьи представлены золотистоволосым муравьем-древоточцем (*Camponotus saxatilis* (Ruzsky, 1895)).

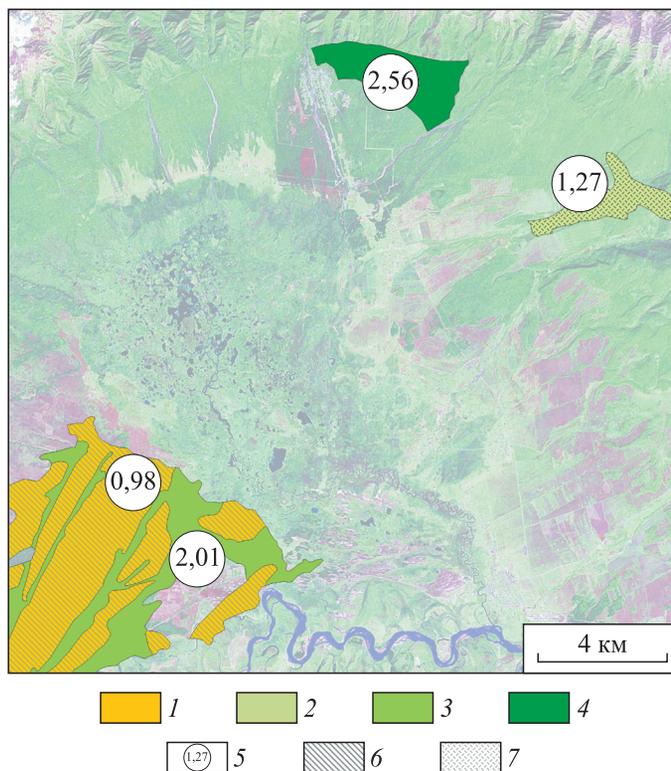
Участок IV находится в относительной близости от гарей, и, учитывая достаточно частые пожары в данной части котловины, можно с уверенностью сказать, что пирогенный фактор так или иначе затрагивает практически все сосновые боры. Тем не менее именно этот участок соснового леса максимально приближен к условно ненарушенным ландшафтам. Среди пауков распространены алопекоза клинообразная и пардоза желтоногая (*Pardosa fulvipes* (Collett, 1876)); среди жесткокрылых — шелкун вдавненный (*Selatosomus impressus*); шелкун блестящий (*S. aeneus* (Linnaeus, 1758)); среди муравьев — лесной муравей Лемана (*Formica lemani* (Bondroit, 1917)), морщинистая мирмика (*Myrmica angulinodis* (Ruzsky, 1905)); среди двукрылых — подотряд короткоусых, семейство ктыри (Asilidae), подотряд длинноусых, семейство комары-долгоножки (Tipulidae).

Анализ видового состава почвенно-биотических сообществ позволяет выделить особенности функционально-трофической структуры, определить доминантные группы, а в нарушенных ландшафтах установить последовательность восстановительных процессов в структуре мезонаселения почвенных беспозвоночных. Для составления более полного перечня видов, населяющих тот или иной биоценоз, требуется длительный ряд наблюдений, а также привлечение к работе большого количества узконаправленных специалистов, поэтому с точки зрения сравнительно-географического подхода к оценке условий мест обитания беспозвоночных было решено использовать уровень надвидовых единиц — таксономических групп (в основном семейств, родов). При этом в зависимости от структурно-функциональных особенностей беспозвоночных таксономические группы объединяются на разных иерархических уровнях. Отряды пауков и губоногих многоножек относятся к зоофагам, а двупарноногие многоножки — к сапрофагам. В то же время в некоторых систематических группах, например жесткокрылых, трофические предпочтения очень различны, и выделение в отдельную таксономическую единицу здесь стоит проводить на уровне семейств.

Проблемы пространственно-временного распределения биоты занимают ведущее место при экологическом восстановлении нарушенных биотических сообществ, что должно стать основой для

Рис. 2. Схема картографической модели пространственного распределения таксономического разнообразия зооценозов почв на основе данных дистанционного зондирования Земли на примере Тункинской котловины (пояснение — см. текст).

Категории таксономического разнообразия: 1 — низкое, 2 — среднее, 3 — относительно высокое, 4 — высокое, 5 — индекс таксономического разнообразия. Сообщества почвенных беспозвоночных: 6 — редуцированного развития, 7 — оптимального развития.



создания сети охраняемых природных территорий, для оценки сбалансированности биоразнообразия и определения критериев устойчивости геосистем [16]. Зоологическое картографирование раскрывает особенности таксономического разнообразия и пространственно-временную специфику дифференциации сообществ зооценозов почв Тункинской котловины, что, в свою очередь, позволяет прогнозировать динамику изменений характеристик биоты при возрастающем антропогенном прессе. При использовании данных дистанционного зондирования земной поверхности и ландшафтного картографирования зооценозы почв приобретают конкретное пространственное положение. На основе этих данных строится картографическая модель таксономического разнообразия почвенной мезофауны (рис. 2).

Ландшафтная основа группируется, объединяется (при необходимости), и в результате полученным выделам присваивается та или иная категория таксономического разнообразия. С помощью инфознаков на картосхеме отображается результат расчета индекса биоразнообразия Маргалефа. Рассмотренные нами типы биотических сообществ отличаются друг от друга в значительных пределах показателями таксономического разнообразия и обилия почвенной биоты, что обусловлено особенностями природных условий и наложенным на них антропогенным прессом (наиболее ощутимы достаточно частые на данной территории лесные пожары). На схеме (см. рис. 2) состояние нарушенных территорий показано дополнительной штриховкой, обозначающей уровень восстановительных процессов по мере приближения к коренным состояниям ландшафта — редуцированное и оптимальное развитие сообществ почвенных беспозвоночных. Ареалы коренных сообществ показаны заливкой с разной интенсивностью цвета, отражающей таксономическое разнообразие: от низкого (желтый) к высокому (темно-зеленый). Наибольшим разнообразием и высокими количественными показателями отличаются комплексы почвенных беспозвоночных смешанных лесов в нижних частях склонов предгорий Тункинских Гольцов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изменения количественных характеристик и таксономического разнообразия зооценозов почв Тункинской котловины происходят в зависимости от проявлений внешних условий среды. Таким образом, распределение почвенной биоты в пространственно-временном аспекте оказывается неравномерным. Фиксировать и отображать эти изменения достаточно непросто, приходится прибегать к принципам сравнительно-географического подхода с использованием наработок в области ландшафтоведения и картографии.

Особенности дифференциации сообществ почвенных беспозвоночных на различных иерархических уровнях ландшафтной структуры определяются основными градиентами среды. Таксономическое разнообразие зооценозов почв и их суммарная численность в сообществе увеличиваются от лесостепных и степных ландшафтов к горно-таежным геосистемам. Расчеты индекса биоразнообразия позво-

ляют ранжировать такие выделы с высокой точностью, а при оценке нарушенности естественных ландшафтов появляется возможность прогнозировать дальнейшие этапы восстановления почвенной биоты до наиболее оптимального состояния.

Эти сценарии лучше всего представлять в виде картографической модели, которая отражает наиболее уязвимые объекты природы и делает возможным их своевременное сохранение посредством мероприятий, направленных на снижение в первую очередь антропогенной нагрузки. Тематическое наполнение моделей не только обеспечивает наглядность и территориальную приуроченность возникающих проблем, но и способствует выработке стратегических планов по оптимальному природопользованию региона. Опыт таких работ в дальнейшем можно переносить на любой другой географический объект, имеющий сходные или иные условия существования и формирования ландшафта в широком понимании этого термина.

*Работа выполнена за счет средств государственного задания (АААА–А21–121012190059–5).*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Menta C.** Soil Fauna Diversity — Function, Soil Degradation, Biological Indices, Soil Restoration // Biodiversity Conservation and Utilization in a Diverse World [Электронный ресурс]. — <https://www.intechopen.com/chapters/38612> (дата обращения 20.05.2023).
2. **Coleman D.C., Crossley D.A., Hendrix P.F.** Fundamentals of Soil Ecology. — Amsterdam: Elsevier Academic Press, 2004. — 386 p.
3. **European Atlas of Soil Biodiversity / Ed. S.L. Jeffrey, C. Gardi, A. Jones.** — Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2010. — 128 p.
4. **Coyle D.R., Nagendra U.J., Taylor M.K.** Soil fauna responses to natural disturbances, invasive species, and global climate change: Current state of the science and a call to action // Soil Biology & Biochemistry. — 2017. — Vol. 110. — P. 116–133.
5. **Бессолицына Е.П.** Ландшафтно-картографический анализ изменения таксономического разнообразия зооценозов почв Байкальского региона // Изв. Иркут. ун-та. Сер. Науки о Земле. — 2021. — Т. 38. — С. 3–12.
6. **Bessolitsyna E.P., Balyazin I.V., Voropai N.N.** Structure and diversity of soil zoocenoses in the Tunka depression // Geography and Natural Resources. — 2018. — Vol. 39, N 4. — P. 358–364.
7. **Михеев В.С., Ряшин В.А.** Ландшафты юга Восточной Сибири. Карта м-ба 1:500 000. — М.: ГУГК, 1977. — 4 л.
8. **Агутова Ж.В.** Естественные и преобразованные геосистемы Тункинской котловины // География и природ. ресурсы. — 2013. — С. 97–104.
9. **Силаев А.В., Сороковой А.А.** Геоинформационный анализ динамики распаханых территорий Тункинской котловины // Геодезия и картография. — 2013. — № 11. — С. 53–57.
10. **Программа и методика биогеоэкологических исследований / Отв. ред. Н.В. Дылис.** — М.: Наука, 1974. — 404 с.
11. **Количественные методы в почвенной зоологии / Ред. М.С. Гиляров, Б.Р. Стриганова.** — М.: Наука, 1987. — 288 с.
12. **Дьяконов К.Н., Касимов Н.С., Тикунов В.С.** Современные методы географических исследований. — М.: Просвещение, 1996. — 207 с.
13. **Равкин Ю.С., Равкин Е.С.** Опыт картографирования населения животных // Изв. РАН. Сер. геогр. — 2004. — № 1. — С. 88–97.
14. **Лебедева Н.В., Кривошукский Д.А., Пузаченко Ю.Г.** География и мониторинг биоразнообразия. — М.: Изд-во Науч. и учеб.-метод. центра, 2002. — 432 с.
15. **Wallwork J.A.** Ecology of Soil Animals. — London; New York; Toronto: McGraw-Hill, 1970. — 283 p.
16. **Бессолицына Е.П.** Картографирование населения почвенных беспозвоночных // Ландшафтно-интерпретационное картографирование. — Новосибирск: Наука, 2005. — С. 243–250.

*Поступила в редакцию 05.06.2023*

*После доработки 31.07.2023*

*Принята к публикации 11.10.2023*