



УДК 574.9+528.946

## **Прогнозное картографирование состояния геосистем на основе пространственно-временных изменений таксономического разнообразия состава зооценозов почв**

И. В. Балязин

*Институт географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, Иркутск*

**Аннотация.** Представлены результаты анализа и прогнозного картографирования на ландшафтной основе состояния степных и лесостепных геосистем Южно-Минусинской котловины. Рассмотрены закономерности изменения таксономического разнообразия состава зооценозов почв под воздействием природных и антропогенных факторов. При снятии антропогенной нагрузки для естественно восстанавливающихся биогеоценозов характерны закономерные смены комплексов беспозвоночных, соответствующие абиотическим и биотическим условиям среды и сукцессионным стадиям. Главной динамической тенденцией является стабилизация таксономического разнообразия состава почвенно-биотических сообществ к заключительным стадиям сукцессии. Состояние почвенной биоты является не только индикатором современного состояния ландшафтов, но одним из предикторов, позволяющих определить, на каком этапе восстановительных процессов находятся геосистемы. Однако возрастающая антропогенная нагрузка связана не только с увеличением объемов техногенных выбросов, но и с территориальным расширением хозяйственной деятельности (новые промышленные площади, разработка угольных разрезов и т. п.). Применение картографического метода в данном аспекте помогает оценить масштабы изменений и пространственное положение преобразованных ландшафтов, а использование сравнительно-географического подхода при анализе состояния почвенных зооценозов определяет временной промежуток, необходимый для восстановления исходного состояния степных и лесостепных геосистем.

**Ключевые слова:** прогнозное картографирование, степные и лесостепные геосистемы, зооценозы почв, таксономическое разнообразие состава педобионтов.

### **Введение**

В экологическом контроле сообщества почвенных беспозвоночных занимают особое место, они являются удобными объектами обнаружения нарушений в окружающей среде. Педобионты отражают фактическую степень загрязнения экосистем. Тесная связь беспозвоночных со средой обитания (температурой, влажностью и содержанием химических элементов) позволяет рассматривать основные черты зооценозов как одну из характеристик состояния геосистем. Высокое экологическое и видовое разнообразие, тесная связь с почвой, низкая миграционная активность, высокая чувствительность и достаточно быстрая реакция на изменение средовых параметров позволяют относить почвенных беспозвоночных к информативным индикаторам.

торам, которые характеризуют изменения окружающей среды в антропогенно преобразованных ландшафтах [4].

В более ранних наших исследованиях пространственно-временной структуры и таксономического разнообразия состава зооценозов почв степных и таежных геосистем Южно-Минусинской котловины подробно рассматривалось современное состояние комплексов почвенных беспозвоночных, а также процессы, связанные с антропогенной деятельностью, приведшие к изменениям коренных геосистем. Однако для всестороннего изучения временного аспекта данного вопроса необходимо провести прогнозирование развития обозначенных выше сообществ и на основе этого дать оценку изменениям состояния геосистем при условии сохранения объемов и пространственного охвата хозяйственной деятельности. Анализ экологических факторов, определяющих изменение структуры почвенной биоты, позволяет понять особенности формирования сообществ беспозвоночных на разных стадиях восстановления, а также определить чувствительность зооценозов почв к антропогенным воздействиям [1]. Основная цель исследований – оценить современное состояние и привести возможный прогнозный «сценарий» изменения пространственной дифференциации зооценозов почв степной и лесостепной части Южно-Минусинской котловины с применением сравнительно-географического и картографического методов.

### **Район и методы исследований**

Территория исследования охватывает границы распространения таежных, лесостепных и степных геосистем, в полной мере отражающих влияние климатических факторов на устойчивость природных экосистем на границе (экотоне) бореального (таежного) и суббореального (лесостепного и степного) поясов. В. А. Николаев определил, что «ландшафтные экотоны формируются в сферах латерального взаимодействия геосистем (ландшафтно-географических полях), наложенных друг на друга. Ими всегда сопровождаются сочетания контрастных по своей природе геосистем: леса и степи, горы и равнины и т. п.» [7, с. 3]. Растущие антропогенные нагрузки увеличивают контрастность и мозаичность экосистем и ландшафтов, и, как следствие, формируются новые пограничные экотонные системы и сообщества. Почвенные беспозвоночные в таких зонах становятся наиболее уязвимыми. В то же время переходные пространства служат местом сохранения биологического разнообразия. Пространственно ограниченное сообщество, образующее переход между двумя другими четко различающимися сообществами, называется экотонном. Типичные экотоны более богаты различными видами, так как в структуре биоты содержат представителей обоих основных сообществ.

При проведении экологических исследований необходимо учитывать максимальное количество природных выделов, это первый этап изучения окружающей среды. Систематические работы в течение нескольких лет в избранной зоне позволяют определить структуру сообществ и выявить изменения как в составе, так и в экологии изучаемых зооценозов. Исследования, проводимые на уровне биогеоценозов, позволяют охватить наиболее

низкий топологический уровень, а с переходом на уровень фаций и групп фаций (более высокий ландшафтный ранг) можно делать выводы о функционировании сообществ почвенных беспозвоночных с учетом действия комплекса различных внешних факторов, включая степень антропогенной нагрузки (например, при восстановительных процессах на залежах).

Проработка методических вопросов позволила оптимизировать проводимые исследования, сделать их менее трудоемкими при сохранении достаточной надежности и репрезентативности получаемых данных. Анализ структурно-количественных характеристик сообществ почвенных беспозвоночных необходим для определения зависимости пространственной дифференциации почвенного мезонаселения от изменений экологических условий, в том числе и антропогенного влияния на среду обитания, для выявления пороговых значений и последующей разработки рациональных рекомендаций по дальнейшему использованию и охране природных ресурсов, мониторинга за состоянием окружающей среды.

### **Обсуждение результатов**

Физико-географический прогноз – это прогноз изменения окружающей (коренные свойства и переменные состояния) природной среды, а также ее изменения в результате антропогенной деятельности. В зависимости от полноты охвата компонентов географической оболочки физико-географический прогноз может быть комплексным или частным [6]. Комплексный физико-географический прогноз предназначен для оценки будущих изменений природно-территориальных комплексов, зависящих от сочетания множества природных условий и факторов. Частные физико-географические прогнозы характеризуют пространственно-временные изменения одного какого-нибудь компонента или явления либо группы тесно взаимосвязанных явлений, в том числе и изменения таксономического разнообразия состава зооценозов почв. Однако рассматривать такие изменения необходимо в рамках комплексных представлений о функционировании природной среды с причинно-следственными связями между разными ее компонентами. Физико-географический прогноз характеризуется пространственно-временными изменениями природных комплексов, по территориальному охвату может быть глобальным, региональным и локальным, что соответствует трем уровням дифференциации географической оболочки (планетарному, региональному и топологическому). Временной отрезок для прогноза определяется возможностями географии и продолжительностью явлений, лежащих в основе изменений природных комплексов. Прогнозы делятся на краткосрочные (5–10 лет), среднесрочные (15–30 лет) и долгосрочные (50–70 лет). [6]. В данной работе территориальный и временной охват укладывается в рамках среднесрочных региональных прогнозов.

Для систематизации информации о состоянии почвенного мезонаселения необходимо составление специальных экологических (тематических) карт. Такая карта дает представление о современном состоянии почвенных зооценозов как природных геосистем, так и испытывающих разную антропо-

погенную нагрузку. Применение для картографических целей геосистемного подхода позволяет определить пространственное положение основных комплексов почвенных беспозвоночных и использовать зооценозы почв для мониторинга состояния окружающей среды. Следовательно, зооценозы почв коренных геосистем обладают более высоким «запасом прочности» на внешние воздействия, нежели сообщества антропогенно нарушенных геосистем, в которых изменение таксономического разнообразия приводит к перестройке структуры мезонаселения. В длительно производных сообществах почвенных беспозвоночных наблюдается усиление устойчивости к действию внешних факторов, и по уровню чувствительности они занимают промежуточное положение между нарушенными и условно ненарушенными геосистемами. Динамические преобразования структурно-количественных характеристик зооценозов почв связаны с восстановительными процессами, происходящими со всеми компонентами биогеоценоза. Сукцессии, представляющие последовательную смену одних биогеоценозов другими, направленную на формирование сообществ, характерных для данного региона, принадлежат к числу главнейших составляющих динамики геосистем. Изучение этих процессов и их средообразующей роли имеет большое значение для познания механизмов взаимодействия между компонентами природного комплекса.

Экосистемы и их биотические составляющие непосредственно или косвенно связаны с климатическими условиями (от фитоклимата местообитаний и до зонального макроклимата). Структурно-количественные характеристики сообществ почвенных беспозвоночных более пластичны и могут восстанавливаться в течение нескольких лет. В степной части юга Сибири основным лимитирующим фактором, ограничивающим разнообразие и активность животного населения почвы, выступает дефицит влаги в летний период при наличии относительно короткого сезона активных температур. Однако прогнозные модели с пространственно распределенными параметрами для региональных экосистем не ограничиваются использованием фоновых климатических предикторов. Прогнозная топоэкологическая концепция аргументируется связью структурно-функциональных характеристик геосистем с климатом через летнее влагосодержание почвы, который является мощным экологическим фактором их территориальной организации [10]. Гидротермические условия оказывают непосредственное влияние на комплексы почвенных беспозвоночных. Увеличение теплообеспечения почвенного яруса в южнотаежной зоне и относительно благоприятный режим увлажнения определяют возможность обитания почвенных беспозвоночных с разными экологическими характеристиками, что и обеспечивает высокое таксономическое разнообразие сообществ почвенных беспозвоночных. При этом следует учитывать, что климатические факторы непосредственно влияют на формирование фитоценозов и на скорость геохимических процессов в почвах. Следовательно, именно особенности гидротермического режима являются доминирующим фактором среды, который преобразует таксоно-

мический облик и функционально-трофическую структуру почвенно-биотических сообществ, а также их количественные характеристики.

Функциональные связи почвенно-биотических сообществ с биотическими и абиотическими факторами среды обуславливают (в разной степени) существование того или иного зооценоза на конкретной территории [1]. Наиболее полной экологической моделью, позволяющей рассмотреть взаимосвязи в среде, является структурно-динамическая модель геосистем, предложенная В. Б. Сочавой [8]. В адаптированном виде для почвенной зоологии эта модель представлена на рис. 1.

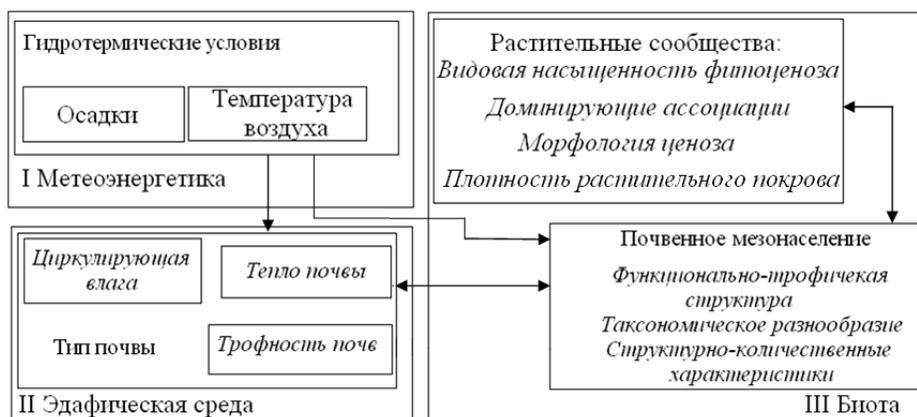


Рис. 1. Взаимодействие элементов экосистемы, оказывающих влияние на пространственное распределение комплексов почвенных беспозвоночных, на основе структурно-динамической модели геосистем центральноазиатского типа (по В. Б. Сочаве) [8]

Эколого-географическое картографирование направлено на изучение и отображение на картах пространственных закономерностей географических объектов в зависимости от окружающей среды. Поэтому оно тесно связано с отраслевым комплексным тематическим картографированием, занимающимся вопросами изучения окружающей природной среды [2]. Современные методы картографирования позволяют создавать карты широкого назначения с помощью различных космоснимков, однако остается ряд направлений картографирования, где применение таких методик оказывается непригодным. Получить информацию о некоторых параметрах из космоса пока невозможно, к этим параметрам можно отнести и распространение почв, и распределение ареалов обитания некоторых групп животных, в том числе и почвенных беспозвоночных. Зоогеографическое картографирование, по мнению Н. В. Тупиковой, «основано на существовании территориальных группировок, обусловленных экологической специализацией видов и пространственной дифференциацией природных условий, составляющих среду обитания» [9, с. 90]. Трудности зоологического картографирования и оценки разнообразия животного мира в значительной мере объясняются спецификой исследований (подвижность животных, сезонная и годовая ди-

намика их численности – все это определяет надежность учетов). Объектом картографирования является животное население в совокупности с его местообитанием, что необходимо для раскрытия экологических и географических связей животного населения [9]. Структура почвенной биоты очень сложна и многообразна. Для того чтобы исследовать мезофауну на видовом уровне, потребуется коллектив специалистов по разным группам беспозвоночных [3]. Картографирование почвенной биоты проведено на ландшафтной основе путем экстраполяции результатов комплексного исследования пространственной организации сообществ почвенных беспозвоночных на обширные территории с исследованием ключевых участков и ландшафтно-экологических профилей, расположенных в Койбальской степи, Центрально-Минусинской лесостепи.

Степень нарушенности почвенных зооценозов, как и состояние сообществ, оцениваемые величиной отклонения индикационных признаков от фоновых характеристик, на обследованной территории варьируют в пределах трех категорий: условно ненарушенные, нарушенные (в этой категории можно выделить еще три подкатегории в зависимости от того, на каком этапе восстановительных процессов находится геосистема: слабо-, средне- и сильнонарушенные) и радикально преобразованные (очень сильно нарушенные, когда восстановительные процессы растягиваются на неопределенный срок) [3]. Почвенно-биотические сообщества условно ненарушенных ландшафтов распространены на обширных территориях – от комплексов галофитных степей лугов и болот в поймах озер до разнотравно-ковыльных степей. Условное состояние ландшафтов связано с хозяйственной деятельностью и использованием их в качестве пастбищ. Однако на современном этапе хозяйственной деятельности поголовье скота и площадь территории использования кормовых угодий существенно ниже, чем в период интенсивного освоения агропромышленным комплексом (АПК) значительной части степных геосистем, когда ставился серьезный вопрос о деградации степи под действием «перевыпаса». Кроме того, на экосистему оказывает влияние наличие крупного промышленного комплекса цветной металлургии, аэробные выбросы от которого четко фиксируются на больших расстояниях от источника загрязнения.

Нарушенные зооценозы почв распространены на значительной части Южно-Минусинской котловины и отличаются тем, что были вовлечены в АПК в качестве пашен. По данным В. Г. Волковой и А. К. Черкашина [4], спонтанно развивающиеся залежи степного ландшафта из пашни превращаются в степи за 20–30 лет. При этом в процессе восстановления выделяется ряд стадий залежей: нулевая, бурьянистая, корневищно-злаковая, рыхлодерновинно-злаковая и плотнодерновинно-злаковая, или коренная степь. К нулевой стадии относятся современные агроценозы (с самым низким таксономическим разнообразием состава почвенно-биотических сообществ), период восстановления составляет порядка 30 лет (по В. Г. Волковой).

Таксономическое разнообразие состава населения зооценозов почв немногим выше, чем в агроценозах, наблюдается в почвах молодых залежей

(период восстановления 5–15 лет). Высокое разнообразие сообществ почвенных беспозвоночных характерно для почв на залежах 3-й стадии восстановления, где происходит смена господствующего типа растительности. Отличительной особенностью агробиоценоза от естественных и серийных биогеоценозов является низкое таксономическое разнообразие на фоне низких удельных значений численности и биомассы беспозвоночных зооценозов почв. Это происходит из-за особенностей возделывания почв: постоянная механическая обработка почв, ведущая к уничтожению личинок, усложнение условий зимовки для стенобионтных видов, внесение химикатов, губительное для педобионтов.

Таким образом, количество лимитирующих факторов в агроландшафтах значительно больше, чем в естественных природных геосистемах. Биогеоценозы коренных степей имеют наиболее стабильное состояние, так как все экотопические и биотические компоненты в них сбалансированы между собой. При сбалансированном фитоценоотическом и эдафоценоотическом фоне и благоприятных климатических условиях происходит увеличение продуктивности таких сообществ без ущерба для таксономического разнообразия и функционально-трофической структуры мезонаселения почв. Показатели количественных характеристик почвенных беспозвоночных от начальных стадий сукцессий к финальным меняются в широких пределах. Однако существует ряд постагрогенных ландшафтов, у которых как такового восстановления до естественных степей не происходит. К ним относятся территории, расположенные вдоль оросительных каналов, рядом с которыми находятся системы лесозащитных полос. Изменение гидротермического режима в зоне контакта степи и искусственных водотоков обуславливает соответствующие изменения в сообществах почвенных беспозвоночных. Здесь восстановление коренной степи протекает по другому типу, с формированием новых зооценозов, несвойственных для типичных степных сообществ почвенных беспозвоночных.

В лесостепных ландшафтах нарушенными зооценозами почв также можно считать пирогенные сообщества, появление которых обусловлено периодически возникающими пожарами (в большинстве антропогенного происхождения). При малой и средней интенсивности пожара структура почвенной биоты достаточно в сжатые сроки (от 5 до 10 лет) приобретает исходный вид, при этом восстановление численных характеристик к фоновым значениям растягивается на значительные сроки. Таким образом, нарушенные почвенно-биотические сообщества подразделяются на три категории: слабонарушенные (с периодом восстановления до 5 лет), средненарушенные (5–15 лет) и сильнонарушенные (15–30 лет). Наиболее ощутимые перестройки в таксономическом составе мезонаселения почв наблюдаются в радикально преобразованных зооценозах. Восстановительные процессы в них растягиваются на неопределенный срок, что связано в некоторых случаях со сменой растительных ассоциаций и микроклиматических условий местообитания (лесополосы, магистральные оросительные каналы и т. п.) или с полным уничтожением жизненного субстрата (в карьерных разработ-

ках, строительных площадках и т. п.). Зооценозы преобразованных природных ландшафтов по сравнению с коренными сообществами нередко имеют более высокие показатели таксономического разнообразия состава населения, что связано с улучшением экологических параметров (микроклимат, лесная растительность). Так, искусственные лесонасаждения Очурского бора самостоятельно существуют более 40 лет, и под пологом леса сформировалась типично лесостепная фауна, и только распространенные здесь почвы (чернозем выщелоченный на карбонатном аллювии) могут идентифицировать степной генезис этой территории.

Открытая добыча каменного угля является самой молодой отраслью хозяйства Республики Хакасия. Промышленные разработки здесь начались сравнительно недавно – в начале 2000-х гг. Увеличение площадей разработок и углубление существующих карьеров кардинально влияют на облик степных геосистем, при этом радикально преобразуются наиболее важные компоненты среды, включая фитозооценоз, почвенная биота пребывает в экстремальных условиях, при которых таксономическое разнообразие состава мезонаселения почв стремится к минимальным значениям.

Полученные данные и анализ нарушенных зооценозов почв по различным категориям становятся основой для прогнозного картографирования. Созданная карта-схема (рис. 2) демонстрирует временные изменения при восстановительных процессах степных и лесостепных геосистем Южно-Минусинской котловины. При выборе масштаба карты исходили из особенностей распространения господствующих типов почв и типов растительных сообществ. Распространение беспозвоночных напрямую зависит от этих двух природных объектов – почва как жизненный субстрат, а растительность является важнейшей частью в цепи питания. От нее зависит распространение как фитофагов и сапрофагов, так и хищных беспозвоночных.

Изменение таксономического разнообразия зооценозов почв отражает ход восстановления коренных степных и лесостепных геосистем исследуемой территории. Пространственное распределение биотических сообществ позволяет оценить местоположение и масштаб нарушенных и преобразованных геосистем. Наиболее «пластичными» оказываются зооценозы почв второй категории – нарушенных сообществ. Так, например, восстановление степных залежей происходит в сжатые сроки, но на любой из стадий смены растительного покрова эти уголья могут быть извлечены из резервного фонда земель под пашни, в таком случае зооценозы почв будут перемещаться на одну ступень ниже в подкатегорию сильнонарушенных сообществ. Следует отметить, что прогнозные данные, представленные здесь, не учитывают перманентное влияние техногенных отраслей (увеличение объемов производства цветной металлургии и расширение карьерных разработок горнодобывающей промышленности), а также возможное восстановление утраченных позиций агропромышленного комплекса. Постоянный мониторинг изменений антропогенного пресса позволяет определить уровень ответной реакции и запас прочности нарушенных и условно ненарушенных геосистем. Тематическое картографирование почвенных сообществ позволяет

отобразить пространственный охват изменений геосистем, связанных с дифференциацией и динамикой климатических, растительных, почвенных и антропогенных факторов.

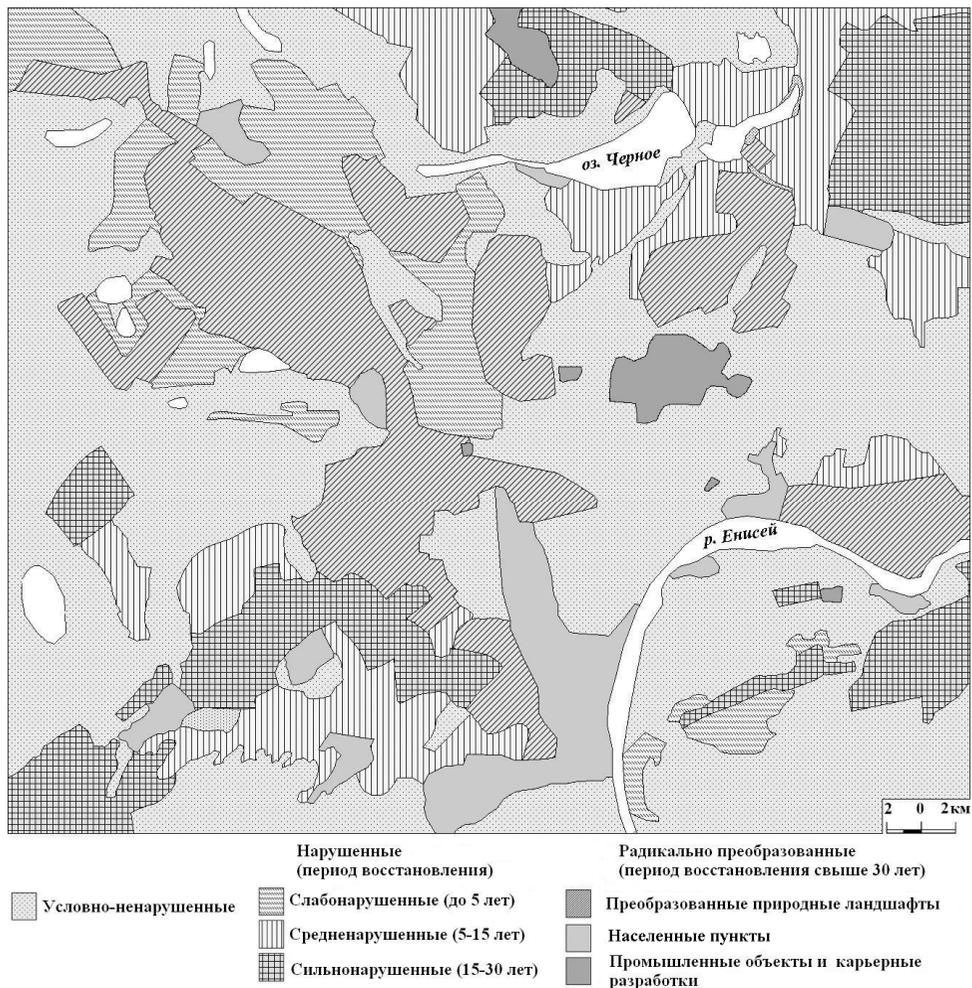


Рис. 2. Прогнозная карта-схема восстановления зооценозов почв геосистем Койбальской степи, Центрально-Минусинской лесостепи

### Заключение

Применение ландшафтно-экологического подхода объективно увеличивает качество прогнозирования изменений компонентов геосистем благодаря учету структурно-динамических особенностей природных комплексов и связанных с ними категорий чувствительности и устойчивости. Анализ пространственно-временного изменения почвенно-биотических сообществ составляет основу для прогнозного картографирования зооценозов почв, которые отражают специфику экологических взаимосвязей с почвой и рас-

тельностью, а также этапы сукцессионных смен. Использование картографической основы обеспечивает пространственную определенность оценочных и прогнозных построений. Результаты статистического анализа позволяют экстраполировать данные на неисследованные территории, имеющие сходные ландшафтно-экологические характеристики. Выявленные связи в пределах выбранных биогеоценозов обоснованы статистической значимостью каждого пространственного предиктора.

Специфика и скорость восстановления степных геосистем имеют определенные сходства с такими же процессами, происходящими с лесостепными ландшафтами. К этим процессам можно отнести: резкое обеднение таксономического разнообразия состава зооценозов почв при антропогенном воздействии и относительно быстрое восстановление структуры сообществ. Для естественно восстанавливающихся степных и лесостепных биогеоценозов характерны закономерные смены животного населения почв, соответствующие конкретным абиотическим и биотическим условиям среды и сукцессионным стадиям – начальной, переходной и заключительной. Однако имеются и существенные отличия в восстановительном процессе. В лесостепных геосистемах в пирогенных сообществах (особенно это характерно для экотонных) на начальных этапах восстановления наблюдается проникновение представителей «чисто» степной фауны, в обратном случае такое явление наблюдается только в искусственно созданных ландшафтах – лесополосах. Показатели численности и биомассы педобионтов степных геосистем чрезвычайно переменчивы. В ходе восстановительных сукцессий обилие и разнообразие форм, связанных с почвой, волнообразно нарастает. Уже в первые три года существования залежи биомасса почвенных беспозвоночных увеличивается почти в 10 раз, что связано с увеличением численности крупных фитофагов. Однако на поздних стадиях восстановления степи происходит снижение средней биомассы за счет трансформации структурно-функциональной организации зооценозов и уменьшения численности доминантных таксонов. Постепенно средняя биомасса сообществ залежей приближается к характеристикам коренных (мелкодерновинных) степей. Для лесостепных геосистем характерно плавное изменение численных характеристик почвенных зооценозов, без резких колебаний, и даже спустя много лет, при полном восстановлении структуры мезонаселения почв, продуктивность таких сообществ остается еще в угнетенном виде.

Таким образом, имеющиеся представления об особенностях изменения таксономического разнообразия состава почвенных зооценозов позволяют достоверно определить сроки, необходимые для восстановления коренных геосистем. На основе полученных данных можно выявить ход изменений, происходящих в зооценозах почв при восстановлении степных и лесостепных геосистем. При существующем объеме антропогенного пресса восстановление исходных ландшафтов протекает в сжатые сроки, но с развитием хозяйственной деятельности и увеличением техногенного пресса возникают ситуации, которые вносят коррективы в естественный процесс восстановления природного облика. Полученная модель с указанием соответствующих

критериев и построенное по ней картографическое изображение представляют собой развитие концепции сотворчества человека и природы, в число основных положений которой входят преодоление нежелательных последствий нарушения природной среды, охрана ее ресурсов и восстановление естественного потенциала; предполагают всестороннее изучение динамических процессов под влиянием человеческой деятельности.

#### Список литературы

1. *Балязин И. В.* Пространственно-временная структура и таксономическое разнообразие зооценозов почв степных и таежных геосистем Южно-Минусинской котловины : автореф. дис. ... канд. геогр. наук : 25.00.23 / И. В. Балязин. – Иркутск, 2015. – 24 с.
2. *Белов А. В.* Картографическое изучение биоты / А. В. Белов, В. Ф. Лямкин, Л. П. Соколова. – Иркутск : Облмашинформ, 2002. – 160 с.
3. *Бессолицына Е. П.* Картографический анализ изменения почвенно-биотических сообществ в ландшафтно-зональном диапазоне / Е. П. Бессолицына, А. В. Бардаш // Изв. Иркут. гос. ун-та. Сер. Науки о Земле. – 2015. – Т. 14. – С. 3–14.
4. *Вершинина С. Д.* Структура почвенной мезофауны в градиенте урбанизации / С. Д. Вершинина // Вестн. Удмурт. ун-та. Сер. Биология. Науки о Земле. – 2011. – Вып. 2. – С. 84–89.
5. *Волкова В. Г.* Исследование производных фитоценозов на основе графо-аналитической модели / В. Г. Волкова, А. К. Черкашин // География и природ. ресурсы. – 1980. – № 3. – С. 139–143.
6. *Жучкова В. К.* Методы комплексных физико-географических исследований : учеб. пособие / В. К. Жучкова, Э. М. Раковская. – М. : Академия, 2004. – 368 с.
7. *Николаев В. А.* Ландшафтные экотоны / В. А. Николаев // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5, География. – 2003. – № 6. – С. 3–9.
8. *Сочава В. Б.* Проблемы физической географии и геоботаники / В. Б. Сочава. – Новосибирск : Наука, 1986. – 344 с.
9. *Тупикова Н. В.* Принципы и методы зоологического картографирования / Н. В. Тупикова, Л. В. Комарова. – М. : Изд-во Моск. ун-та, 1979. – 192 с.
10. *Шарая Л. С.* Прогнозное картографирование лесных экосистем (ландшафтно-экологический подход) / Л. С. Шарая // Изв. Самар. науч. центра РАН. – 2013. – Т. 15, № 3. – С. 38–47.

## Forecasting Mapping the Geosystems State Based on Spatial-Temporal Changes of Taxonomic Diversity of Soil Zoocenoses

I. V. Balyazin

*V. B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk*

**Abstract.** This paper presents the results of the analysis and forecasting mapping based on the landscape state of steppe and forest-steppe geosystems of the South-Minusinsk depression. The characteristics of the changes in taxonomic diversity of soil zoocenose composition under the influence of natural and anthropogenic factors are analyzed. When removing the anthropogenic load, naturally regenerating biogeocenoses are characterized by regular changes of complexes of invertebrates, corresponding to abiotic and biotic environmental conditions and successional stages. The main dynamic trend is a gradual increase in the number of taxa stabilization of the taxonomic diversity of the composition of the soil-biotic communities to the final stages of successions. While removing the anthropogenic impact for naturally regenerating biogeocenoses, regular changes of invertebrate complexes are characteristic that correspond to the abi-

otic and biotic conditions of the environment and the succession stages. The main dynamic trend is the stabilization of taxonomic diversity in the composition of soil-biotic communities to the final succession stages. The state of the soil biota is not only an indicator of the current state of landscapes, but one of the predictors allowing to determine, what stage of recovery processes geosystems are at. However, the increasing anthropogenic impact is associated not only with the increase of technogenic emissions, but also with the territorial expansion of economic activity (new industrial areas, coal mines, etc.). Application of cartographic approach here makes it possible to assess the scope of changes and spatial position of transformed landscapes, and the use of comparative geographic approach in analyzing the state of soil zoocenoses determines the period, necessary for restoration the initial state of steppe and forest-steppe geosystems.

**Keywords:** forecasting mapping, steppe and forest-steppe geosystems, soil zoocenoses, taxonomic diversity pedobionts.

### References

1. Balyazin I.V. Spatio-temporal structure and taxonomic diversity of zoocenoses soil of steppe and taiga geosystems of South-Minusinskaya depression. *Extended abstract of candidate's thesis*. Irkutsk, 2015, 24 p. (in Russian).
2. Belov A.V., Lyamkin V.F., Sokolova L.P. *Kartograficheskoye izucheniye bioty* [Mapping study of the biota]. Irkutsk, 2002, 160 p.
3. Bessolitsyna E. P., Bardash A. V. Cartographic Analysis of Soil Biotic Communities' Changes in Landscape-Zonal Range. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta: Seriya «Nauka o Zemle»*. [News of Irkutsk State university: Series «Science of Earth»], 2015, vol. 14, pp. 3-14 (in Russian).
4. Vershinina S.D. The structure of soil macrofauna in a gradient of urbanization. *Vestnik udmurtskogo universiteta. Seriya «Biologiya. Nauki o Zemle»* [Bulletin of Udmurt University. A series of «Biology. Earth sciences»], 2011, Issue 2, pp. 84-89 (in Russian).
5. Volkova V.G., Cherkashin A.K. Research of phytocenoses derivatives based on graph-analytic model. *Geografiya i prirodnye resursy* [Geography and natural resources], 1980, no 3, pp. 139-143 (in Russian).
6. Zhuchkova V.K., Rakovskaya E.M. *Metody kompleksnykh fiziko-geograficheskikh issledovaniy* [Methods of complex physical-geographical research]. Moscow, Akademiya publ., 2004, 368 p.
7. Nikolayev V.A. Landscape ecotones. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya* [Bulletin of Moscow University. Series 5. Geography], 2003, N 6, pp. 3-9 (in Russian).
8. Sochava V.B. *Problemy fizicheskoy geografii i geobotaniki* [Problems of Physical Geography and Geobotany]. Novosibirsk, Nauka publ., 1986, 344 p.
9. Tupikova N.V., Komarova L.V. *Printsipy i metody zoologicheskogo kartografirovaniya* [Principles and methods of zoological mapping]. Moscow, Moscow University publ., 1979, 192 p.
10. Sharaya L.S. Prognostic mapping of forest ecosystems (a landscape-ecological approach). *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk* [Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2013, Vol. 15, N 3, pp 38-47 (in Russian).

Балязин Иван Валерьевич  
 младший научный сотрудник  
 Институт географии им. В. Б. Сочавы  
 СО РАН  
 664033, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1  
 тел.: (3952) 42-70-95  
 e-mail: grave79@mail.ru

Balyazin Ivan Valerievich  
 Junior Research Scientist  
 V. B. Sochava Institute of Geography SB RAS  
 1, Ulan-Batorskaya st., Irkutsk, 664033  
 tel.: (3952) 42-70-95  
 e-mail: grave79@mail.ru