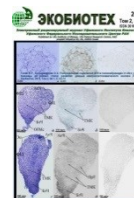




ЭКОБИОТЕХ

ISSN 2618-964X

<http://ecobiotech-journal.ru>

Обзор

СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СВЯЗЬ БИОРАЗНООБРАЗИЯ НАЗЕМНЫХ ЭКОСИСТЕМ С ПОЧВАМИ

Хазиев Ф.Х.

Уфимский институт биологии Уфимского федерального
исследовательского центра РАН, Уфа
E-mail: bashbal@mail.ru

Сохранение биоразнообразия наземных экосистем комплексная проблема, она не может быть эффективно решена лишь на уровне видов, популяций и сообществ в отрыве от среды их обитания, главной составляющей которой в наземных экосистемах является почва как жизненное пространство для организмов, так и связующее звено всех компонентов физико-химическими и трофическими связями. В наземных экосистемах почвы и организмы, обитающие в (и на) них, функционируют в эволюционно и экологически обусловленном пространственно-временном единстве, формируя систему разнообразия (типов, свойств) почв «—» биоразнообразия», которая формировалась в процессе их длительной коэволюции. Концептуально показано проявление этой связи на различных иерархических уровнях структурно-функциональной организации экосистем: эволюционно-сукцессионном, ЭПП (элементарные почвенные процессы), зонально-географическом, ландшафтном, биогеоценотическом, почвенно-типовом, горизонтно-ярусном, геохимическом, а также на уровне плодородия почв. Приведены аргументы. Антропогенез наземных экосистем приводит к нарушению гармоничных взаимосвязей между почвой и биocenозами, ухудшает биоразнообразие. Рассмотрены влияние изменяющихся свойств почв на биоразнообразие при сельскохозяйственном использовании земель, эрозии, мелиорации, нефтяном загрязнении, горнопромышленных нарушениях. Утверждается необходимость экосистемного подхода при решении проблемы сохранения биоразнообразия в единстве с сохранением почв.

Ключевые слова: почва, биоразнообразие, структурно-функциональное единство почв и биocenозов, антропогенное нарушение почв и биоразнообразия, экосистемный подход сохранения биоразнообразия и почв

STRUCTURAL AND FUNCTIONAL CONNECTION OF BIODIVERSITY GROUND ECOSYSTEMS WITH SOILS

Khaziev F.Kh.

Ufa Institute of Biology of the Ufa Federal Research Centre
of the Russian Academy of Sciences, Ufa
E-mail: bashbal@mail.ru

The conservation of biodiversity of terrestrial ecosystems is a complex problem; it cannot be effectively solved only at the level of species, populations and communities in isolation from their habitat, the main component of which in terrestrial ecosystems is the soil as a living space for organisms as well as a link of all components physico-chemical and trophic relationships. In terrestrial ecosystems, soils and organisms living in (and on) them function in an evolutionary and environmentally determined spatio-temporal unity, forming a system of “diversity (types, properties) of soils <-> biodiversity”, which was formed during their long-term co-evolution. Conceptually shows the manifestation of this relationship at various hierarchical levels of the structure-functional organization of ecosystems: evolutionary succession, ESP (elementary soil processes), zonal geographic, landscape, biogeocentotic, soil-type, horizontal-longline, geochemical, and soil fertility level. Arguments are given. Anthropogenesis of terrestrial ecosystems leads to disruption of harmonious relationships between the soil and biocenoses, worsens biodiversity. The effect of changing soil properties on biodiversity during agricultural use of land, erosion, land improvement, oil pollution, and mining disturbances are considered. It is argued that the ecosystem approach is needed in solving the problem of biodiversity conservation in unity with soil conservation.

Keywords: soil, biodiversity, structural and functional unity of soils and biocenoses, anthropogenic disturbance of soil and biodiversity, ecosystem approach to biodiversity and soil conservation

Поступила в редакцию: 8.01.2019

DOI: [10.31163/2618-964X-2019-2-1-19-35](https://doi.org/10.31163/2618-964X-2019-2-1-19-35)

ВВЕДЕНИЕ

Проблема устойчивого развития, направленная на достижение экологической стабильности и обеспечение продовольственной безопасности, связана в первую очередь с сохранением биологического разнообразия видов и сообществ растений, животных и микроорганизмов в природных и антропогенных экосистемах [Примак, 2002; Миркин, Наумова, 2010]. Современное биоразнообразие является результатом совокупного влияния целого ряда природно-исторических и антропогенных факторов, которые привели к формированию видов и сообществ живых организмов, соответствующих условиям среды. Для большей части наземных организмов основной средой обитания, жизненным пространством является почва. Виды или целые сообщества растений, животных и микроорганизмов достаточно четко приурочены в своем распространении к определенным экологическим условиям и прежде всего к определенным типам и видам почв, адаптируясь к свойственным им гидротермическим и физико-химическим режимам.

Формирование и поддержание разнообразия жизни является одной из важнейших экологических функций почв [Добровольский, Никитин, 1990], которая реализуется созданием в почве необходимых условий для жизнедеятельности обитающих в (на) ней организмов.

Наряду с тем, что почва обеспечивает биологические организмы условиями жизни, в ней сосредоточен генофонд многих организмов. В почве обитают тысячи видов животных и содержится огромный банк семян растений, сохраняющих в течение многих лет способность прорасти. Почва является самым богатым природным субстратом по микробному генофонду. Обнаружены некультивируемые, но жизнеспособные «наноформы» бактерий, как способ выживания и длительного сохранения в почве [Умаров, 1998; Добровольская и др., 2015].

КОНЦЕПЦИЯ ЕДИНСТВА БИОРАЗНООБРАЗИЯ И РАЗНООБРАЗИЯ ПОЧВ

Согласно докучаевскому учению о факторах почвообразования в едином эволюционном процессе возникновения, формирования, развития и функционирования почвы биологический фактор играет главную роль. Почва, являясь порождением биологической жизни (то есть функцией развития биоты), впоследствии сама становится условием существования ее. На тесной связи разнообразия видов, жизненных форм и физиологических функций почвенной биоты со свойствами почв основаны биологические методы диагностики и индикации почв – зоологический [Гиляров, 1965; Гельцер, Яковлев, 1996], геоботанический [Викторов, Ремезова, 1988], микробиологический [Аристовская, 1980; Сорокин, 2009], ферментативный [Галстян, 1980; Хазиев, 1982].

В историческом процессе коэволюции почв и живых организмов в наземных экосистемах в пространственно-временном единстве сформировалась и функционирует система разнообразия почв <—> биоразнообразие”.

Взаимобусловленность функционирования всех компонентов системы «разнообразие почв <—> биоразнообразие» проявляется на различных иерархических уровнях структурно-функциональной организации экосистем: эволюционно-сукцессионном, ЭПП (элементарно-почвенные процессы), зонально-географическом, ландшафтном, биогеоценотическом,

почвенно-типовом, горизонтно-ярусном, геохимическом, а также на уровне плодородия почв [Хазиев, 2011] (схема).

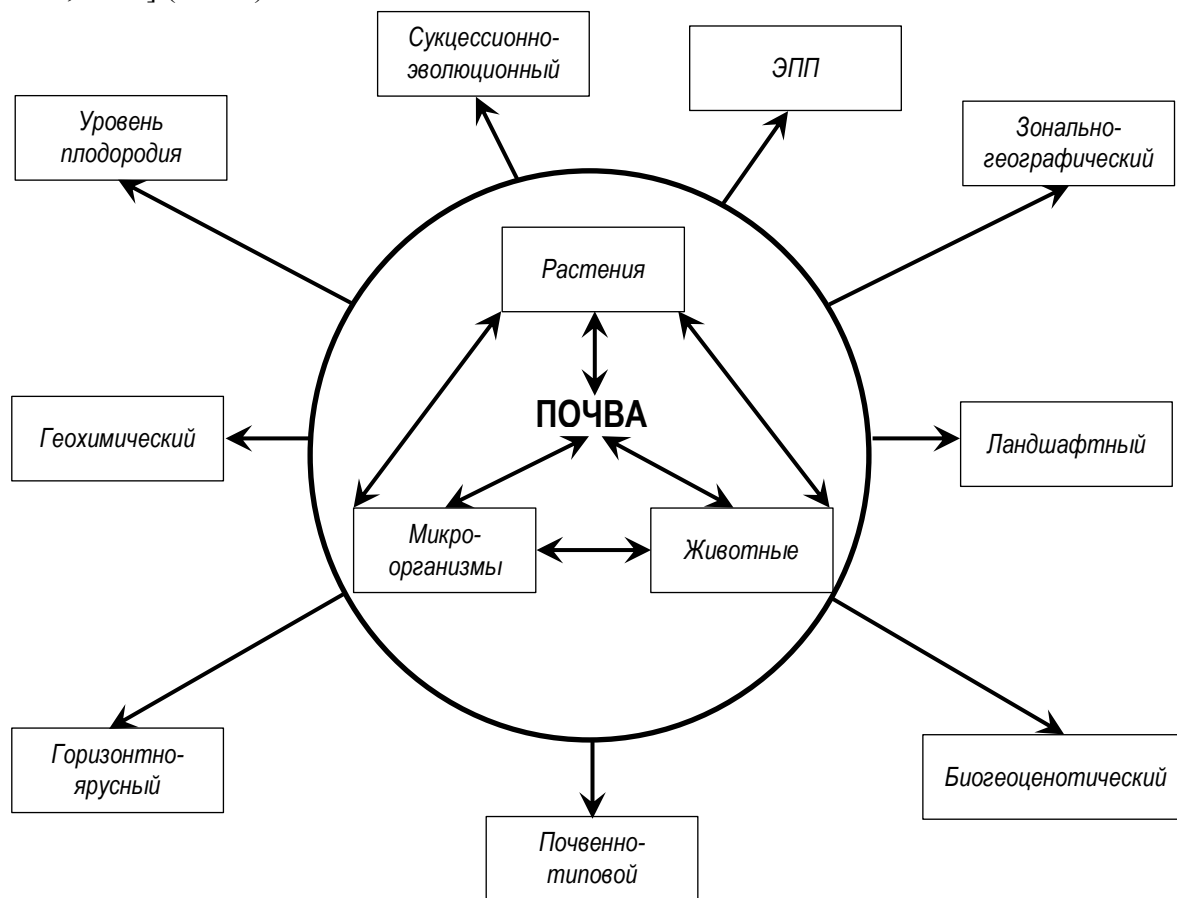


Рис. 1. Уровни структурно-функциональной организации биоразнообразия в наземных экосистемах

Эволюционно-сукцессионная связь функционирования почвы и биологических организмов начинает формироваться с момента начала почвообразования на суше после поселения горных пород микроорганизмами. Первопоселенцами были водоросли и цианобактерии [Кац, 1990]. Заселение суши высшими растениями происходит только при условии наличия микробной системы деградации биомассы. Первоначально эту роль выполнили микобактерии [Красильников, 1958; Аристовская, 1980]. Особую роль в становлении наземной флоры сыграли мицелиальные микроорганизмы (грибы, актиномицеты), образуя симбиотические ассоциации с водорослями в виде лишайников и с растениями в виде микориз. Это партнерство сохранилось до сих пор: 9/10 видов всех растений микотрофны [Звягинцев и др., 1998]. Далее сапрофитные грибы, разрушая растительные остатки, содержащие лигноцеллюлозу, способствовали формированию прогумусовых соединений и началу почвообразовательного процесса. В биохимическом выветривании и первичном почвообразовательном процессе активно участвуют актиномицеты, обладая активной ферментной системой. Процесс почвообразования от первично-примитивного до генетически зрелого типа (почвенная сукцессия) [Васенев, 2003] сопровождался микробной и растительной сукцессиями адекватно изменениям свойств почвы. Характер сукцессии определяется как внешними воздействиями (поступление органики, увлажнение и др.), так и внутренней логикой процесса, когда предыдущие сукцессионные события создают необходимые предпосылки для последующих. Это

особенно четко проявляется в микробной сукцессии. Например, происходит последовательная смена групп и видовых популяций микроорганизмов при разложении растительного опада [Звягинцев и др., 1998].

Существует много работ по влиянию растений на почву и, наоборот, почвенных условий на растения. Так, Л.О. Карпачевский [1996] на основе изучения структуры почвенного покрова и разнообразия лесных фитоценозов установил, что, если растение поселяется на почвы с худшими условиями, оно изменяет их в соответствующем для него направлении. Если же условия полностью соответствуют растению по свойствам, то оно поддерживает эти свойства на необходимом уровне. Формирование неоднородного почвенного покрова приводит к увеличению биологического разнообразия. Также детально изучив подзолообразовательный процесс и роли растений при этом, А.А. Роде [1984] выявил связь эволюции почвенного покрова с эволюцией растительного покрова.

Таким образом, растения, микроорганизмы и почвы прошли длительный путь коэволюции и в настоящее время продолжается их тесная взаимосвязь на разных иерархических уровнях структурно-функциональной организации этой системы. Почвы, находящиеся на климаксом уровне эволюции, имеют устойчивое поликомпонентное сообщество биоты, адекватно отражающее почвенные свойства.

Уровень элементарных почвенных процессов (ЭПП). Почвообразование представляет собой совокупность определенных макро-и микропроцессов, характерных для каждого генетического типа почвы, которые называются как элементарные почвенные процессы (ЭПП) и составляют основу био-физико-химической сущности процесса почвообразования [Роде, 1984; Герасимов, 1975]. Проявление того или иного ЭПП определяется геоэкологическими условиями, создающими определенную экологическую обстановку в почве со специфическими режимами: химическим, гидротермическим. Адекватно этим режимам формируются и ЭПП. И.П. Герасимовым [1975] их выделено 13 видов.

Развитие ряда ЭПП полностью и частично связано с биохимической деятельностью микроорганизмов. Существенный вклад в их развитие вносят высшие растения и представители почвенной фауны. Такие почвенные процессы Т.В. Аристовская [1980] называет элементарными почвенно-биологическими процессами (ЭПБП). Для конкретных ЭПБП характерно определенное соотношение эколого-трофических групп микроорганизмов и типичный комплекс доминантных их видов [Аристовская, 1980; Сорокин, 2009]. Так, на примере анализа микробного комплекса в различных типах лесных почв Сибири Н.Д. Сорокин [2009] установил соотношение численности эколого-трофических групп и комплекс доминантных видов микроорганизмов, осуществляющих ведущие элементарные почвенные процессы – гумусообразование, торфообразование, осолодение, оподзоливание, оглеение, дерновый ЭПП, которые характеризуют лесорастительные свойства этих почв.

С элементарными почвенными процессами тесно связан и видовой состав растительности, формирующийся адекватно к условиям среды, определившей тот или иной тип ЭПП. В свою очередь видовые особенности растений накладывают существенный отпечаток на количественный и качественный состав микрофлоры почвы [Красильников, 1958] путем воздействия корневых выделений (ризосферный эффект), а после гибели – посредством корневых остатков и опада, дальнейшая трансформация которых (гумификация,

минерализация) определяется соотношением типов ЭПП. Примером является развитие подзолообразовательного процесса под хвойными лесами при доминировании в микробном комплексе почвы грибов с формированием подзолистого горизонта в почвенном профиле.

Роль почвенных животных в ЭПП заключается главным образом в создании благоприятных условий для развития микроорганизмов, в частности предварительное измельчение растительного опада, что делает его более доступным для дальнейшего преобразования микроорганизмами. Примерами могут быть также новообразования, кротовины, экскременты почвенных беспозвоночных, гнезда муравьев, разрастания водорослей и т.д.

Таким образом, формирование и функционирование растительных и микробных ценозов в единстве с почвенными свойствами происходит и на иерархическом уровне ЭПП структурно-функциональной организации биоразнообразия в наземных экосистемах.

Зонально-географический уровень взаимосвязи почвы и биоразнообразия проявляется в географической зональности распределения почв и биоценозов в соответствии с географической зональностью природы, в целом, в частности, с зональной дифференциацией почвенного покрова с севера на юг в целом и вертикальной поясностью в горных районах [Докучаев, 1899], зональностью распределения видов растений и животных [Гиляров, 1965] и почвенных микроорганизмов [Мишустин, 1954]. В каждой природно-климатической зоне (тундровой, таежной, лесостепной, степной и т.д.) формируются и функционируют соответствующие типы почв, виды растений, комплексы микроорганизмов и животных, отражая совокупное влияние на них природных факторов – физико-географических условий, горных пород, климата в их различных вариациях.

Широтно-зональному тренду дифференциации биогеоценозов с севера на юг сменяющимся сообществам тундровых, таежно-хвойных, лесо-луговых, степных и сухостепных типов растительности соответствует изменение структуры, биомассы, численности, разнообразие их и смена микробных доминантов в структуре микробоценозов - уменьшение грибной флоры при увеличении бациллярных форм бактерий, а также соответствующая смена типов почв – тундровых, дерново-подзолистых, серых лесных, черноземов, каштановых. Соответственно меняется и структура зооценозов – беспозвоночных и позвоночных.

Ландшафтный уровень. Горные, склоновые, пойменные, болотные и другие ландшафты, отличающиеся друг от друга разнообразием почв, характеризуются и специфическим составом растительности и микрофлоры, соответствующим конкретным почвенным условиям. Качественное разнообразие растительных сообществ и бактериальных комплексов почв в пределах ландшафтов в первую очередь определяется локальными климатоформирующими факторами (влажность и температура): на горных ландшафтах – высотой местности, типом и глубиной залегания пород, сложностью геоморфологии; на склоновых ландшафтах - крутизной и экспозицией склонов, выраженностью эрозионных процессов; в пойменных ландшафтах – характером поемности, составом и свойствами привносимого наноса; в болотных ландшафтах – глубиной грунтовых вод. Каждому конкретному ландшафту соответствуют микробные [Заварзин, 1994] и растительные сообщества, тип (разновидность) почвы.

Ярким примером этому являются результаты исследований А.М. Русанова [2007] влияния лесного массива (Бузулукский бор) на биоразнообразие растений и свойства почв соседних с ним ландшафтов. Установлено, что в непосредственной близости от леса под влиянием относительно мягкого и влажного мезоклимата в естественных фитоценозах преобладают виды – мезофиты и почвы лесостепные. На удалении от лесного массива (17-18 км) наблюдается высокое биоразнообразие из-за соседства в едином фитоценозе мезофитов и ксерофитов. Здесь же наблюдается максимальное разнообразие свойств почв (по морфологическим показателям, гумусному состоянию) и наивысшая сложность структуры почвенного покрова, что характерно для экотонных ландшафтов. Далее от леса, где ландшафты перестают испытывать его влияние, формируется типичный для степной зоны довольно гомогенный почвенно-растительный покров из сообществ злаковых на черноземах обыкновенных.

Биогеоценотический уровень. На этом уровне также формируется специфическая структура коадаптированных компонентов биоценозов почв. Для каждого биогеоценоза характерна специфичная структура почвенных микроорганизмов с наличием доминирующих видов. Так, лесной биогеоценоз характеризуется доминированием в своем составе сообществ лесных культур, мицелиальных форм микроорганизмов и дерново-подзолистых и серых лесных почв, имеющих кислую реакцию и малое содержание гумуса. А для степных биогеоценозов характерно преобладание травянистой степной растительности, бактериальной флоры и актиномицетов и высокогумусных черноземов с нейтральной реакцией среды.

Изменение одного из компонентов биогеоценоза или их свойств и состава приводит к его разрушению. При уничтожении растительности почвы деградируют, нарушается микробное сообщество. Этой тенденции противостоит “работа” биогеоценоза по постоянному перекачиванию вещества в метастабильные тонкодисперсные соединения в почвенном ярусе коры выветривания, чем достигается и поддерживается стационарное состояние почвы. С термодинамических позиций почва представляет собой открытую поликомпонентную систему, обменивающуюся со средой энергией и веществом в значительной степени через ее живую компоненту. Функционирование почвы в биогеоценозе в стационарном состоянии осуществляется за счет формирования метастабильных органо-минеральных продуктов с относительно высокой свободной энергией, а не наиболее устойчивых и низкоэнергетических фаз [Трофимов, Седов, 1997]. При этом относительное постоянство содержания и состава продуктов трансформации, соответствующего конкретному биогеоценозу, поддерживается периодичностью поступления органического вещества растений, характерного для данного биоценоза и переработкой его почвенными организмами.

Почвенно-типовой уровень. Функционирование биоразнообразия в связи с разнообразием почв на этом уровне структурно-функциональной организации экосистем заключается в том, что каждому конкретному типу почвы соответствуют тип растительного сообщества и комплексы микрофлоры и мезофауны, сформировавшиеся в естественно-историческом процессе их коэволюции. Разнообразие растительности и микробное разнообразие, адаптированные к данному типу почвы, определяются многими экологическими факторами: содержанием органического вещества, влажностью,

кислотностью среды, концентрацией элементов питания и солей, физико-механическими свойствами почвы, которые характерны для каждого конкретного типа почвы. От сочетания этих факторов, определяющих тип почвообразования, зависят соотношение таксонов в микробных комплексах почв и состав видов растительности. Так, в генетическом ряду типов почв: дерново-подзолистые-серые лесные-черноземы-каштановые растительность представлена, соответственно, хвойными, широколиственными, степными, полупустынными травянистыми и кустарниковыми видами и ассоциированными с ними мицелиальными и бактериальными микробиоценозами. В дерново-подзолистых почвах доминантами являются микомицеты, по мере передвижения к степным почвам микробном комплексе доминируют бактерии и актиномицеты (Звягинцев и др., 1998). Как не могут формироваться под степными травянистыми ассоциациями дерново-подзолистые почвы, так и черноземы не могут формироваться под хвойными лесами.

Животный мир различных типов почв также различается по видовому разнообразию, что во многом связано с физико-механическими свойствами почвы (гранулометрический состав, водно-воздушный режим, плотность) и составом растительного опада [Гиляров, 1965].

Горизонтно-ярусный уровень. Связь биоразнообразия со свойствами почвы в пределах ее генетических горизонтов обуславливается, главным образом, общими закономерностями вертикальной стратификации микробных сообществ в почвенном профиле и корневой системы растений. В наземных экосистемах основным определяющим вертикальное распределение микроорганизмов является характер субстрата (органического и минерального), обеспечивающего определенный тип питания микробиоты [Звягинцев и др., 1998]. При этом важное значение имеет биохимический состав поступающих в почву растительных остатков в виде наземного опада и отмерших корней, подвергающихся деструкции микроорганизмами и почвенными животными. Каждому почвенному горизонту соответствуют группы микроорганизмов с доминантными видами. Изменение численности и таксономической структуры всех групп микроорганизмов в биогеоценологических горизонтах отражает распределение корневой системы и ее биохимический состав и морфогенетические особенности почвенных горизонтов, которые соответствуют особенностям типа биоценозов.

Так, в вертикальной структуре лесных биогеоценозов вертикальная стратификация выражена резко, от надземного яруса (филлоплан растений) к наземному (подстилка) прослеживается увеличение плотности заселения субстрата всеми микроскопическими обитателями. Ярусом с максимальной концентрацией жизни микроскопических существ является лесная подстилка. В этом ярусе сосредоточены и разнообразные группировки мелких членистоногих и простейших. В лесной подстилке значительно выше ферментативная активность по сравнению с другими почвенными горизонтами [Звягинцев и др., 1998]. Ниже, в почвенном ярусе, происходит довольно резкое снижение видового разнообразия и численности микроорганизмов (грибов и бактерий), кроме актиномицетов [Зенова, Звягинцев, 1994]. В степных биогеоценозах структура горизонтного распределения корневой системы растений, таксонов и численности микроорганизмов иная. Наибольшее разнообразие и высокая численность отмечаются в верхнем гумусовом горизонте почв, его снижение вниз по профилю постепенное. Она соответствует уменьшению поступления

растительных остатков, снижению содержания гумуса, изменению физико-химических свойств почвенных горизонтов.

Состав растительных сообществ, микроорганизмов и почвенной фауны в значительной степени зависит от **геохимической обстановки** в среде обитания, определяющей трофические условия и тип питания биоты. Геохимия почвы определяется составом почвообразующих пород и продуктов их выветривания. Биологический мир почвы, формирующейся на материнской породе, по видовому составу и обилию в значительной степени адекватен свойствам породы. Так, на кислых моренах таежной зоны в соответствии с климатическими условиями формируются подзолистые почвы в единстве с хвойными древесными растениями и доминирующей грибной микрофлорой. На нейтральных элювио-делювиальных отложениях в лесостепной зоне формируются серые лесные почвы под покровом широколиственной лесной и луговой растительности при доминировании в микробном комплексе почвы бактериальной флоры. На насыщенных карбонатами продуктах выветривания в степной зоне под лугово-степной растительностью формируется тип черноземных почв, микробный комплекс которого представлен преимущественно бактериями и актиномицетами.

Кроме того, на динамику биоценозов в определенных условиях могут значительно влиять поступающие извне техногенные химические соединения, не свойственные почвам данного биогеоценоза. К примеру, при значительных концентрациях техногенные тяжелые металлы оказывают ингибирующее действие на растения и почвенные организмы, разрушая установившиеся между ними отношения, что ведет к обеднению биоразнообразия.

Одним из важных почвенных условий, определяющих биоразнообразие, является **уровень плодородия** почвы, характеризующий трофические, гидрофизические и физико-химические условия жизни биоты. Чем плодороднее почва, тем богаче и разнообразнее в ней микрофлора и фауна (жуки, черви и др.). На плодородных почвах более благоприятны условия для формирования высокого разнообразия состава растительных сообществ и формирования ими большей биомассы, чем на менее плодородных.

В отличие от естественных экосистем агроэкосистемы характеризуются меньшим биоразнообразием и в результате этого более низкой биопродуктивностью почв. Формирование высокого биоразнообразия в агроэкосистемах, как фундаментальная проблема повышения плодородия и устойчивости почв к процессам деградации, достигается за счет севооборотов, возделывания поликультур, оптимизации структуры угодий путем сокращения избытка пашни и снижения пастбищной дигрессии травостоев, лесомелиорации и формирования резерватов животных (в первую очередь, насекомых и птиц-энтомофагов).

Таким образом, анализ взаимосвязи биоразнообразия с почвами на различных уровнях структурно-функциональной организации наземных экосистем показывает, что формирование и функционирование единства биологического разнообразия и разнообразия почв эволюционно и экологически обусловленный процесс.

ПРОБЛЕМА БИОРАЗНООРАЗИЯ В СВЯЗИ С АНТРОПОГЕНЕЗОМ ПОЧВ

В настоящее время природные комплексы подвергаются сильному и все нарастающему антропогенному воздействию - как агрогенному, так и техногенному, что приводит к разрушению естественно установившихся взаимосвязей между компонентами

экосистем, особенно между почвой и обитающими в (и на) ней организмами (растениями, животными, микроорганизмами), сокращается обилие и разнообразие видов живых организмов. Это происходит в результате как физического уничтожения, так и ухудшения условий обитания в связи с разрушением почв.

Антропогенез почв (динамика свойств почв под воздействием антропогенных факторов) в настоящее время в регионе стал широко распространенным фактором почвообразования, результатом которого является преимущественно деградационная динамика свойств почв и ухудшение условий для жизнедеятельности почвенных организмов и растений, что приводит к снижению биоразнообразия. На территории республики наиболее распространенными антропогенными факторами почвообразования являются сельскохозяйственное использование земель, эрозия, мелиорации, нефте-и горнодобывающая индустрия, вырубка лесов, строительство магистральных сооружений (трубопроводов, дорог, дамб), урбанизация территорий, лесные насаждения и промышленные выбросы и т.д.)

Сельскохозяйственное использование земель. Нарушение взаимосвязей между почвой, растениями и почвенными организмами происходит при разрушении естественного растительного покрова в результате распашки лугов и степей и сведения лесов для сельскохозяйственного использования освобождаемых земель. При этом лесные и лугово-степные ландшафты с богатым разнообразием видов растений и почвенных организмов заменяются монотонными сельскохозяйственными ландшафтами с малым разнообразием видов в культурных биоценозах. В почве резко изменяются численность, структура и биомасса микроорганизмов и фауны. Соответственно изменяются и свойства почвы. В первую очередь снижается содержание и изменяется качественный состав гумуса в результате усиления минерализации и уменьшения поступления в почву источников гумусообразования - растительного опада. Ухудшение гумусного состояния почвы влечет за собой нарушение структурно-физических свойств, гидротермических режимов, трофических условий в почве, необходимых для нормального развития растений и почвенных организмов.

В настоящее время агроэкосистемы характеризуются бедным биологическим разнообразием. Причины: высокая распаханность сельскохозяйственных угодий, превышающая экологически допустимые нормативы (до 70-80% площади в северной и южной лесостепной зонах Башкирии), преобладание в агроценозах монокультур, малая доля лесных насаждений, в результате чего агроэкосистемы мало устойчивы против действия деградирующих факторов. Экологически устойчивы такие агроэкосистемы, которые имеют высокое биологическое разнообразие. Для поддержания высокого биоразнообразия в агроэкосистемах в первую очередь необходимо создавать оптимальную функциональную и пространственную структуру угодий – лесов, лугов и пашни, соответствующую природным зонам (соотношение площадей, пространственное размещение и состав угодий, поголовье животных). Пахотные угодья должны составлять минимально необходимую долю при максимальном насыщении севооборотных полей почвозакрепляющими культурами (многолетние травы, озимые культуры, поликультуры). Должны быть сохранены существующие лесные массивы и созданы новые поле-и почвозащитные насаждения. Экологически оптимизированные агроэкосистемы должны быть

лесоаграрными в соответствии с нормативами экологического императива [Миркин и др., 1999].

Эрозия почв. Одним из факторов нарушения целостности природных систем является эрозия почв. Основная причина возникновения развития эрозия - хозяйственная деятельность человека, при которой разрушается растительный покров, являющийся защитным экраном почвы.

Около 60% пахотных земель республики подвержено в разной степени водной и ветровой эрозии. Наиболее сильно развита эрозия в Северной лесостепной и Предуральской степной зонах. При эрозии удаляется плодородный насыщенный жизнью верхний слой почвы. Ежегодные эрозионные потери почв составляют около 9 т/га в среднем по республике с колебаниями от 1.5 до 26 т/га мелкозема. В оставшемся почвенном профиле резко сокращается численность микроорганизмов и фауны, обедняется их видовое разнообразие, подавляется ферментативная активность почвы, характеризующая биохимическую активность почвенной биоты [Эрозия почв..., 1984]. Все это происходит не только за счет удаления биологически активного слоя почвенного профиля, но и за счет ухудшения в почве условий для роста и развития растений и жизнедеятельности педобионтов – падает численность, биомасса, разнообразие. Из почвы теряется гумус, ухудшаются физико-химические, гидрофизические свойства и пищевой режим. Таким образом, при эрозии нарушаются установившиеся взаимосвязи между биоразнообразием и почвой, почва теряет важные функциональные свойства, необходимые для формирования разнообразной биологической жизни в ней. В системе мероприятий, направленных на сохранение и поддержание высокого биоразнообразия в природных экосистемах, борьба с эрозией почв с целью улучшения биоэкологических условий является неотъемлемой их частью, особенно в агроэкосистемах, где развита эрозия [Хазиев, 2007].

Следует отметить высокую эффективность в восстановлении почв и биоразнообразия в эрозионноразрушенных ландшафтах лесомелиорации. В зоне действия лесных полос существенно изменяются условия почвообразования, улучшается микроклимат – уменьшается скорость ветра, сокращается поверхностный сток воды, увеличивается влажность и температура приземных слоев воздуха. Активность влияния лесных полос на свойства почв зависит от конструкции лесополосы, высоты и возраста полособразующих пород, а также от типа почвообразования. Она простирается на 50-100 м. В зоне влияния лесной полосы больше накапливается и равномерно распределяется снежный покров, уменьшается глубина промерзания почвы, в почве больше накапливается запас влаги, улучшаются водный, тепловые и воздушные режимы, увеличивается содержание гумуса, подвижного азота и фосфора, улучшаются физико-химические условия и структурное состояние почвы [Винокуров и др., 1959]. В связи с улучшением микроклиматических условий, свойств почв под лесополосой и межполосном пространстве поддерживается высокое биоразнообразие, увеличивается растительная масса, численность почвенных микроорганизмов и фауны, в частности дождевых червей, различных многоножек. В целом экосистема обогащается биоразнообразием за счет растительности в лесополосах, заселения лесополос множеством видов животных, насекомых и птиц.

Яркой иллюстрацией природу восстанавливающего эффекта лесных насаждений с полным возрождением биологического разнообразия на разрушенных овражно-балочных и

крутосклонных землях является опыт лесомелиоративного их освоения в Туймазинском, Шаранском районах республики [Косоуров, 1996]. Уже через 10-15 лет после строительства оврагозакрепляющих и водозадерживающих гидротехнических сооружений и террасной посадки древесно-кустарниковой растительности полностью прекратилась эрозия почвогрунтов, в лесонасаждениях сложилась обстановка, свойственная типичному лесному биоценозу, с образованием характерной лесной подстилки, появлением в напочвенном покрове лесных видов. Под защитой лесонасаждений улучшилось видовое разнообразие травянистой растительности и насекомых. Поэтому для сохранения целостности почвы и почвенного покрова, поддержания экологической устойчивости природных ландшафтов, особенно на сельскохозяйственных угодьях, наиболее эффективным является лесоаграрное использование земель.

Пастбищная дигрессия почв и биоразнообразие. На естественных кормовых угодьях, используемых под выгон, происходит пастбищная дегрессия почв. Это – экологическая сукцессия, вызываемая выпасом скота, при которой изменяется состав растительности и свойства почвы. В исследованиях, проведенных в Зауралье, показано, что под влиянием копыт животных, особенно парнокопытных, при превышении поголовья скота над пастбищной емкостью, нарушается дернина, снижается порозность, биологическая активность почвы, при этом в низинах скапливаются поверхностные воды и формируются анаэробные процессы в почве [Суюндуков, 2001]. В ходе пастбищной дигрессии изменяется растительность — снижается видовое богатство, проективное покрытие, высота растений, продуктивность травостоя, в сообщества внедряются рудеральные и сорные виды [Муллагулов, 2010].

При уплотнении почв к поверхности профиля могут мигрировать растворимые соли, если почвообразующие породы засолены, что характерно для зауральских степей. В этом случае появляются солеустойчивые виды растений и происходит галофитизация пастбищ. На влажно-луговых пастбищах при близком залегании грунтовых вод в результате уплотнения почвы происходит заболачивание пастбищ, в составе растительности доминантами становятся гигрофиты, вытесняя мезофитных лугово-злаковых видов. На склонах гор пастбищная дигрессия вызывает развитие эрозии почвы.

Пастбищная дигрессия особенно характерна для Зауралья, где традиционно было высокое поголовье крупного рогатого скота, лошадей и овец. В зависимости от степени разрушения пастбищ выделяются различные стадии пастбищной дигрессии — от слабой дигрессии до полной выбитости. Масштабы дигрессии пастбищ зависят от особенностей ландшафтов, свойств почв, типов растительности, климатических условий. В разных типах степей эти изменения не одинаковы. Так, показано, что наиболее устойчивы к пастбищной деградации ковыльно-разнотравные степи с черноземами обыкновенными, чем луговые с черноземами выщелоченными и сухие ковыльные степи с черноземами южными. Последние разрушаются более интенсивно [Муллагулов, 2010]. Улучшение свойств почв является главным фактором восстановления растительности естественных пастбищ [Русанов, 2011].

Предотвратить пастбищную дигрессию и восстановить нарушенные травостои и свойства почвы возможно при приведении в соответствие пастбищной емкости и пастбищной нагрузки, при внедрении научно-обоснованных пастбищеоборотов и улучшении пастбищ. Высокую эффективность имеет метод создания «агростепей», разработанный

Д.С. Дзыбовым, при котором на обработанную почву рассеивается сено-семенная смесь, заготовленная на сохранившемся участке степи. В результате залежная сукцессия ускоряется во много раз и полностью восстанавливаются сообщества растений и почва.

Гидромелиорация земель. Изменение водного режима в почве путем удаления избытка воды (осушение) или насыщение почвы влагой в случае нехватки ее для роста растений (орошение) вносит существенную коррективу в биологическую жизнь почвы в результате изменения ее физико-химических свойств, водных и других режимов.

При **осушении** заболоченных массивов, как показали наши исследования, проведенные на осушенных массивах в лесостепной и степной зонах республики, окислительно-восстановительные условия в почве смещаются в окислительную сторону, оптимизируются водно-воздушный режим и физико-химические свойства почвы. Из почвы удаляются токсические восстановленные соединения железа, марганца и других элементов, в случае торфяно-болотных почв усиливаются минерализационные процессы и обогащение почвы подвижными питательными соединениями, активизируется микробиологическая деятельность, повышается ферментативная активность, т.е. в почве коренным образом изменяются жизнеобеспечивающие условия, что приводит к смене характерных для данных экотопов флоры и фауны на соответствующие к новым экологическим условиям, возрастает их видовое разнообразие, структура и численность. В составе микрофлоры доминантами становятся аэробные бактерии и грибы, в структуре фитоценозов гигрофитная растительность заменяется мезофитными лугово-злаковыми видами. Состав и свойства биогеоценозов становятся близкими к зональным. При дальнейшем использовании осушенных земель в качестве кормовых угодий они характеризуются высоким биоразнообразием как по растительности, так и по микробному и фаунистическому комплексам. В случае нарушения технологий эксплуатации осушенных массивов (зарастание магистралей, пастбищное уплотнение почвы) может происходить вторичное их заболачивание или засоление, особенно в степных регионах, соответствующей галофитизацией растительности [Почвообразовательные процессы..., 1982].

Орошение. В республике площади орошаемых земель составляют около 67 тыс. га. Орошаются преимущественно кормовые и овощные культуры, плодоваягодные насаждения, а также естественные луга. Применяются методы полива и лиманного орошения. При орошении в почве происходят существенные перестройки внутрипочвенных процессов - водно-солевого режима, физико-химических свойств, а также соответствующие к новым почвенным условиям структурно-функциональные изменения биоценозов – микробных и фаунистических комплексов и растительности, интенсивность и масштабы которых зависят от режимов орошения. На орошаемых массивах естественных кормовых угодий возрастает надземная и подземная биомасса растений, в ботаническом составе травостоя возрастает видовое разнообразие – в степных районах увеличиваются луговые компоненты, изменяется также биохимический состав надземной и подземной частей растений [Сафин, Япаров, 2018]. Характер изменения свойств почв и биоценологических компонентов зависит от способов, норм, режимов и длительности орошения. В опытах с длительным орошением отмечено нарушение солевого режима в почвах (вторичное засоление), ухудшение и других агроэкологических условий и следствием этого - снижение биопродуктивности [Габбасова, 2004].

Нефтепромышленное загрязнение почв. В процессах добычи и транспортировки нефти в результате аварийных разливов на местах буровых работ и утечек из поврежденных трубопроводов в окружающую среду попадают значительные количества нефти, технологических промысловых растворов и засоленных пластовых вод. Эти очень сильные геохимические агенты загрязняют и разрушают природные комплексы: почвы, водные источники, растительность и животный мир. В загрязненных ландшафтах резко изменяются активность и разнообразие жизни: полностью исчезают позвоночные и крупные беспозвоночные животные, численность мелких беспозвоночных резко снижается [Артемьева, 1989], происходит коренная перестройка почвенных альгосинузий, снижается насыщенность и численность водорослей [Киреева и др., 1982]. Особенно токсичны нефть и нефтепромысловые воды для высших растений. При загрязнении погибает полностью древесная растительность, сильно угнетается жизнедеятельность основных видов травянистых растений.

В исследованиях динамики растительности при различных сроках влияния нефтяного загрязнения на луговые растения установлено, что под действием этого поллютанта падает проективное покрытие почв под растениями, трансформируются морфометрические показатели растений, изменяется флористический состав сообществ. В луговых сообществах уменьшается видовая насыщенность, у доминирующих видов снижается внутривидовое и внутривидовое генетическое разнообразие (полиморфизм) [Суслонов, 2010]. Эти изменения устойчивы, восстанавливаются медленно. Снижение генетического разнообразия потенциально может быть особенно опасным, так как оно определяет адаптивный потенциал живых организмов в условиях изменяющейся среды.

Активно реагируют на нефтяное загрязнение почвенные микроорганизмы, происходит резкое изменение разнообразия, численности и активности микроорганизмов отдельных физиологических групп микроорганизмов. Н.А. Киреевой [1994] на нефтезагрязненных почвах Башкирии показано резкое уменьшение численности актиномицетов, нитрификаторов, аэробных целлюлозоразрушающих микроорганизмов. При этом наблюдалось увеличение численности азотфиксаторов и олигонитрофилов, особенно углеводородокисляющих микроорганизмов.

На микрофлору почвы наиболее сильное влияние оказывают нефтепромысловые воды, содержащие высокие концентрации токсичных солей. При загрязнении ими в почве уменьшается численность и видовой состав основных групп микроорганизмов. При этом отмечен рост численности видового разнообразия грибов [Киреева, 1994]. Реакция почвенных микроорганизмов и некоторых видов растений зависит от концентрации загрязнителей и срока воздействия. Малые концентрации нефти могут стимулировать жизнедеятельность некоторых видов микроорганизмов и растений, с течением времени токсическое действие снижается.

Влияние нефти и промысловых растворов на растения и почвенную биоту не только непосредственно токсично или стимулирующе при низких концентрациях, оно осуществляется и через изменение почвенных условий их жизнедеятельности. При нефтяном загрязнении в почве ухудшаются гидрофизические условия - уплотняется сложение, ухудшаются структурность, водные свойства, гумусное состояние почвы, нарушается азотный режим, снижается содержание подвижных элементов питания, падает

ферментативная активность [Габбасова, 2004; Новоселова, 2008]. Под влиянием нефтепромысловых сточных вод почвы превращаются в техногенные солонцы и солончаки с резким ухудшением агрохимических и агрофизических свойств, деградирует растительность и подавляется жизнедеятельность почвенной биоты.

Таким образом, техногенная деградация природных ландшафтов при добыче и транспортировке нефти приводит к сопряженному разрушению установившихся равновесных связей между почвой и почвенными организмами и растениями. Разработанные биологические и агротехнические методы регенерации нефтезагрязненных почв позволяют восстанавливать их свойства и нарушенную структуру и состава биоценозов и поддержания оптимального биологического разнообразия в природных экосистемах нефтедобывающих регионов [Габбасова, 2004].

Горно-промышленные отвалы. На территории республики значительны площади отвалов горно-рудных предприятий, формирующихся при добыче полезных ископаемых открытым способом. Основные их массивы сосредоточены на территориях Кумертауского бурогольного разреза, Белорецкого железорудного комбината, Сибайского медно-серного и Учалинского горно-обогатительного комбинатов. Занимая значительные площади, отвальные образования вносят нарушения в природные комплексы - растительность, почвенный покров, водные источники разрушают и загрязняют их, в почве нарушается биологическая жизнь. При отсыпке отвалов под ними остаются нормальные почвы, уничтожается растительность, животный мир, формируются безжизненные пустынные ландшафты.

Состав отвалов разных объектов различен, масштабы влияния на природные комплексы и процессы восстановления растительности и сопутствующего ей животного мира на них не одинаковы и длительны.

Первоначальное поселение растений в техногенных ландшафтах затруднено в связи с отсутствием почвы, неустойчивостью и неблагоприятностью аэрогидрологических режимов в грунтах отвалов, механическим передвижением грунтов вследствие процессов просадки, выветривания и эрозии, часто отмечаемой фитотоксичностью отвальных грунтов, что особенно характерно для железорудных и медноколчеданных образований в Зауралье, и недостаточностью главных элементов питания, особенно азота. Успешность естественного освоения растениями техногенной среды зависит также от механического состава отвальных пород, способа складирования компонентов отвала, местоположения того или иного участка в системе всего отвала (экспозиция склона, ширина террасы, возможность подтока грунтовых вод), относительного расположения участка и растений-обсеменителей (расстояние, высотные уровни, потенциальные возможности обсеменителей к продуцированию семенного материала), степени зоогенного и антропогенного воздействия.

Мониторинговые наблюдения на различных отвалах [Баталов и др., 1989] показывают, что через некоторое время, очевидно, когда из грунта вымываются фитотоксичные соединения, на отвалах начинают поселяться высшие растения. Первопоселенцами являются рудеральные виды, которые в ходе сукцессии постепенно заменяются зональными лугово-степными видами и древесными растениями. Пионером среди древесных растений является ива козья, которая постепенно уступает место березе повислой и сосне обыкновенной. Появляется животный мир. Постепенно начинается почвообразовательный процесс и через 15-20 лет формируется небольшой мощности

почвогрунт с содержанием гумуса. В результате разрушения отвалообразующих пород, накопления в грунте гумуса, изменения физико-химических свойств, постепенно улучшаются условия для роста и развития растений и карьерно-отвальные образования покрываются травяной и лесной растительностью. Состав естественной растительности, поселяющейся на отвальных грунтах, зависит от климатических условий. В лесостепном Предуралье (Кумертауский буроугольный отвал) благоприятны условия для древесных растений в комплексе с луговыми травами. Здесь почвообразование идет более ускоренными темпами. В условиях Зауралья естественное возобновление растительности и почвообразование на отвалах идут неудовлетворительно из-за засушливого климата, худших лесорастительных свойств грунта и отсутствия источников семян в связи с низкой лесистостью района. Естественное зарастание этих отвалов происходит в основном за счет травянистых растений. Наиболее экономичным и экологичным способом восстановления природных комплексов, нарушенных при горных разработках полезных ископаемых, является лесохозяйственная рекультивация [Баталов и др., 1989], при котором во вновь образованной почве восстанавливается свойственное данным природным и ландшафтным условиям гармоничное единство свойств почвы и разнообразия биологических комплексов, что является подтверждением концепции структурно-функционального единства разнообразия почв и биоразнообразия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Взаимосвязь разнообразия живых организмов и почв на различных уровнях структурно-функциональной организации наземных экосистем показывает, что формирование и функционирование единства биологического разнообразия и разнообразия почв эволюционно и экологически обусловленный процесс. Поэтому проблема сохранения и поддержания биоразнообразия эффективно может быть решена на основе экосистемного подхода, предусматривающего сохранение структуры и функции экосистемы в целом, включая и почву, как важнейшего экосистемообразующего компонента. Это соответствует решению международной «Конвенции о биологическом разнообразии» (Рио-де-Жанейро, 1992 г.), где подчеркивается, что основным условием сохранения биологического разнообразия является сохранение *in situ* экосистем и естественных мест обитания в целом, поддержание и восстановление жизнеспособных видов организмов или их популяций в их естественных почвенно-экологических условиях. Это возможно в условиях крупных ландшафтных заповедников как БППЗ, ЮУГПЗ и т.п., где минимальны антропогенные воздействия на природные комплексы, однако этого необходимо добиваться и на антропогенных ландшафтах. Это может быть эффективно реализовано на основе применения наряду с популяционно-видовым подходом и экосистемного подхода для сохранения биоразнообразия [Большаков и др., 2009], главной особенностью которого является сохранение структуры и функции экосистемы, включая и почву. Однако, как отмечают академик В.Н. Большаков и др. [2009], в нашей стране, в отличие от западноевропейских, для действительного внедрения экосистемного подхода при осуществлении различных природоохранных проектов и мероприятий уделяется очень мало внимания в основном из-за отсутствия надлежащей законодательной и финансовой поддержки. В то время как гармонизация функционирования биоразнообразия и разнообразия почв является главным

условием при решении проблемы повышения устойчивости природных комплексов в целом, устойчивого развития и обеспечения экологической и продовольственной безопасности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аристовская Т.В. Микробиология процессов почвообразования. Ленинград: Наука. 1980. 187 с.
2. Артемьева Г.И. Комплексы почвенных животных и вопросы рекультивации техногенных территорий. М.: Наука, 1989. 111 с.
3. Баталов А.А., Мартьянов Н.А., Кулагин А.Ю., Горюхин О.Б. Лесовосстановление на промышленных отвалах Предуралья и Южного Урала. Уфа, 1989. 139 с.
4. Большаков В.Н., Луцкина А.А., Неронов В.М. Сохранение биологического разнообразия: от экосистемы к экологическому подходу // Экология. 2009. № 2. С. 83-90.
5. Васенев И.И. Почвенные сукцессии как форма эволюции почв таежных и антропогенно измененных лесостепных экосистем. Автореф. дисс. ... докт. биол. наук. М.: МГУ, 2003. 49 с.
6. Викторов С.В., Ремезова Г.А. Индикационная геоботаника. М.: Изд-во МГУ, 1988. 168 с.
7. Винокуров М.А., Даутов Р.К., Колоскова А.В. Влияние лесных полос на почвы. Казань: Таткнигоиздат., 1959. 142 с.
8. Габбасова И.М. Деградация и рекультивация почв Башкортостана. Уфа. Гилем. 2004. 283 с.
9. Галстян А.Ш. Ферментативная диагностика почв // Проблемы и методы биологической диагностики и индикации почв. М.: Изд-во МГУ, 1980. С. 110-121.
10. Герасимов И.П. Опыт генетической диагностики почв СССР на основе элементарных почвенных процессов // Почвоведение. 1975. № 5. С. 3-9.
11. Гельцер Ю.Г., Яковлев А.С. Значение биоразнообразия для диагностики почв // Почвоведение. 1996. № 6. С. 735-742.
12. Гиляров М.С. Зоологический метод диагностики почв. М.: Наука, 1965. 213 с.
13. Добровольская Т.Г., Звягинцев Д.Г., Чернов И.Ю. и др. Роль микроорганизмов в экологических функциях почв // Почвоведение. 2015. № 9. С. 1082-1096.
14. Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Функции почв в биосфере и экосистемах. М.: Наука, 1990. 260 с.
15. Докучаев В.В. Учение о зонах природы. СПб, 1899. 28 с.
16. Заварзин Г.А. Микробная биогеография // Журнал общей биологии. 1994. Т. 55. Вып. 1. С. 5-12.
17. Звягинцев В.Г., Добровольская Т.Г., Бабьева И.Н. и др. Структурно-функциональная организация микробных сообществ наземных экосистем // Экология и почвы. Пуццино, 1998. Т. II. С. 34-83.
18. Зенова Г.М., Звягинцев Д.Г. Актиномицеты в наземных экосистемах // Журнал общей биологии. 1994. Т. 55. № 2. С. 198-209.
19. Карпачевский Л.О. Структура почвенного покрова и разнообразие лесных фитоценозов // Почвоведение. 1996. № 6. С. 722-727.
20. Кац Л.Н. Палеомикробиология: проблемы и перспективы // Успехи микробиологии. 1990. Т. 24. С. 194.

21. Киреева Н.А. Микробиологические процессы в нефтезагрязненных почвах. Уфа, 1994. 171 с.
22. Киреева Н.А., Хазиев Ф.Х., Кузяхметов Г.Г. Роль микроорганизмов в самоочищении нефтезагрязненных почв // Микроорганизмы как компонент биогеоценоза. Алма-Ата, 1982. С. 216-217.
23. Косоуров Ю.Ф. Овраги и крутосклоны. Уфа, 1996. 167 с.
24. Красильников Н.А. Микроорганизмы и высшие растения. М.: Изд. АН СССР. 1958. 464 с.
25. Миркин Б.М., Наумова Л.Г. Экология и устойчивое развитие Республики Башкортостан. Уфа, 2010. 90 с.
26. Миркин Б.М., Хазиев Ф.Х., Хазиахметов Р.М., Бахтизин Н.Р. Экологический императив сельского хозяйства Республики Башкортостан. Уфа: Гилем, 1999. 165 с.
27. Мишустин Е.Н. Закон зональности и учение в микробных ассоциациях почвы // Успехи современной биологии. 1954. Т. 37. Вып. 1. С. 1-27.
28. Муллагулов Р.Т. Сукцессии растительных сообществ и изменение признаков почв под влиянием выпаса в зональных вариантах степных экосистем Башкирского Зауралья. Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Уфа. 2010. 16 с.
29. Новоселова Е.И. Экологические аспекты трансформации ферментного пула почвы при нефтяном загрязнении. Уфа. Изд. БГУ, 2008. 102 с.
30. Почвообразовательные процессы в осушенных и пойменных землях Башкирии (ред. Ф.Ш. Гарифуллин). Уфа, 1982. 173 с.
31. Примак Р.Б. Основы сохранения биоразнообразия. М.: НУМП. 2002. 256 с.
32. Роде А.А. Генезис почв и современные процессы почвообразования. М.: Наука, 1984. 370 с.
33. Русанов А.М. Биоразнообразие растений и почв прилегающих к Бузулукскому бору ландшафтов // Экология. 2007. № 1. С. 13-17.
34. Русанов А.М. Почва как фактор восстановления растительности естественных пастбищ // Экология. 2011. № 1. С. 1-8.
35. Сафин Х.М., Япаров Г.Х. Оптимизация хозяйственного использования мелиорированных земель Республики Башкортостан. Уфа: Мир печати. 2018. 260 с.
36. Сорокин Н.Д. Микробиологическая диагностика лесорастительного состояния почв Средней Сибири. Новосибирск: Изд. СО РАН, 2009. 221 с.
37. Суслонов А.В. Влияние нефтяного загрязнения почв на морфологические и генетические характеристики растений и на формирование растительного покрова // Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Уфа, 2010. 19 с.
38. Суюндуков Я.Т. Экология пахотных почв Зауралья Республики Башкортостан. Уфа: Гилем, 2001. 255 с.
39. Трофимов С.Я., Седов С.Н. Функционирование почв в биогеоценозах: подходы к описанию и анализу // Почвоведение. 1997. № 6. С. 770-778.
40. Умаров М.М. Роль микроорганизмов в устойчивости почв // Экология и почвы. Пушино, 1998. С. 15-21.
41. Хазиев Ф.Х. Системно-экологический анализ ферментативной активности почвы. М.: Наука, 1982. 203 с.
42. Хазиев Ф.Х. Почвы Республики Башкортостан и регулирование их плодородия. Уфа : Гилем. 2007. 282 с.
43. Хазиев Ф.Х. Почва и биоразнообразие // Экология. 2011. № 3. С. 184-190.
44. Эрозия почв Южного Приуралья (ред. Ф.Х.Хазиев). Уфа, 1984. 139 с.