

На правах рукописи



Попова Наталья Валентиновна

**Типизация напочвенных органогенных горизонтов
в основных почвенно-фитоценоотических экосистемах и индикация их
состояния по параметрам деструктивной ветви малого
биологического круговорота**

03.02.08 – экология (биология)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора биологических наук

Владимир - 2018

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

Научный консультант: доктор биологических наук, профессор
Трифопова Татьяна Анатольевна

Официальные оппоненты: Зубкова Валентина Михайловна
доктор биологических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Российский государственный социальный университет», профессор кафедры техносферной безопасности и экологии

Зубкова Татьяна Александровна
доктор биологических наук, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», старший научный сотрудник лаборатории физики и технологии почв

Григорьевская Анна Яковлевна
доктор географических наук, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», профессор кафедры геоэкологии и мониторинга окружающей среды

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тверской государственный университет»

Защита состоится «12» октября 2018г. в 13.00 ч. на заседании диссертационного совета Д 212.025.07 при ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» по адресу: 600000, г. Владимир, ул. Горького, 87, корп.1, ауд.335.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ВлГУ и на сайте <http://diss.vlsu.ru/>.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью, можно присылать по адресу: 600000, г. Владимир, ул. Горького, 87, ВлГУ, кафедра биологии и экологии.

Автореферат разослан «___» _____ 2018 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат биологических наук



Кулагина Екатерина Юрьевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Напряженная экологическая обстановка, обусловленная возрастающим антропогенным влиянием, соизмеримым с природными геохимическими процессами, имеет глобальный характер, негативно сказывается на природной среде и жизнедеятельности человека, нарушая естественные круговороты вещества и энергии в экосистемах, снижая устойчивость структурных элементов почвенно-фитоценоотических систем, приводя к сокращению биоразнообразия.

Непременным условием устойчивого функционирования экосистем является замкнутость или сбалансированность малого биологического круговорота, который обеспечивает стабильность процессов продукции вещества, что важно для сохранения структуры самой экосистемой. По этому поводу Л.Г. Раменский заметил: «Без анализа биобаланса ценозов мы не можем толком разобраться ни в экологических закономерностях, ни в явлениях устойчивости и смен растительных группировок». Благодаря замкнутости процессов метаболизма обеспечивается тесная связь типов растительности, типов биологического круговорота с типами почвообразования – через процессы разложения и закрепления органо-минеральных веществ в почве, формы гумуса, состав обменного комплекса почв и т.п.

Сбалансированность процессов обмена вещества и энергии, определяется как проявление функционирования системы и выражается в соотношении накопления органического вещества и его деструкции. Они составляют два основных процесса, происходящих в экосистемах, и основную роль в них играет почвенный органо-генный горизонт, который является индикатором функционирования экосистем, что определяется, прежде всего, его ролью в биологическом круговороте.

Важная и во многих случаях приоритетная роль деструктивной ветви в малом биологическом круговороте обусловлена тем, что у природных экосистем выработан механизм отставания процесса гетеротрофной утилизации

и разложения от процессов их созидания. Благодаря этому напочвенный органогенный горизонт служит своего рода кладовой необходимых питательных веществ для растений. Если атмосфера и фитосреда изменяются как обменный фонд экосистемы, то почва с лесной подстилкой служат ее резервным фондом, обеспечивающим стабильность функционирования. Прогрессирующее разложение или, наоборот, нарастание запасов подстилки вызывают нарушение прежней скорости движения органического вещества по цепи малого биологического круговорота, что соответственно меняет и темпы биопродукционного процесса – в целях восстановления непрерывности метаболического цикла.

Обычно, почвенно-растительный покров является базовой составляющей в формировании экосистем, поэтому, принципиально они формируются под воздействием биологических (наземного растительного опада, жизнедеятельности организмов) и климатических факторов, определяемых теплообеспеченностью, увлажнением, кислотностью среды, минеральным питанием и т.п. Однако именно различные сочетания этих параметров определяют появление специфических органогенных горизонтов в пределах определенных ареалов.

Если органогенный горизонт рассматривать как относительно самостоятельный природный объект, то *совокупность внешних факторов, влияющих на его развитие, можно трактовать как определенную «экологическую нишу»*, т.е. условия, в которых он существует. А через характеристику экологических ниш подстилок можно раскрывать условия функционирования экосистемы, т.к. напочвенные органогенные горизонты – носители скрытой информации о дифференциации, состоянии и развитии различных экосистем. Экосистемы, соответственно, можно представить как определенные сочетания экологических ниш различной структуры, сложности и устойчивости во времени и пространстве.

Устойчивость, которая определена как свойство экосистемы сохранять свою структуру и характер функционирования при изменяющихся условиях

среды, можно оценить с помощью индикации состояния почвенно-фитоценотического ареала через систему количественных показателей напочвенного органогенного горизонта. Это позволит разработать методы экологического прогнозирования при изучении динамики экосистем различных уровней. С таких позиций, органогенные горизонты в различных экосистемах изучены недостаточно.

Для решения этой проблемы необходимо обосновать использование комплекса идентификационных признаков, позволяющих оценивать изменчивость напочвенного органогенного горизонта в зависимости от аazonальных и зональных особенностей экосистем. Определение количественных параметров напочвенных органогенных горизонтов с привлечением массового эмпирического материала, географических и математических методов позволит выявить закономерности формирования и территориальной дифференциации экологических ниш напочвенных органогенных горизонтов, создать диагностическую шкалу параметров малого биологического круговорота, отражающую функционирование экосистем. При этом типы экосистем можно рассматривать как системы региональных и типологических комплексов различного таксономического ранга, сходные по физико-географическим процессам и морфологической структуре, характеризующиеся определённым соотношением тепла и влаги, а также соответствующими типами почв, напочвенных органогенных горизонтов, как важнейшей части малого биологического круговорота, растительности.

Разработка принципов индикации современного состояния и прогнозирования динамики развития экосистем на основе определения параметров напочвенных органогенных горизонтов является актуальной проблемой.

Цель исследования. Типизация и классификация параметров устойчивости почвенно-фитоценотических экосистем мира, рассчитанных с помощью оценки взаимосвязи характеристик мощности напочвенного органогенного горизонта

и почвенно-климатических факторов, диагностических параметров в аспекте функционирования детритной ветви малого биологического круговорота.

В соответствии с целью исследования решались следующие **задачи**:

- сформулировать и обосновать понятие «экологическая ниша» напочвенного органогенного горизонта в аспекте характеристики нисходящей ветви малого биологического круговорота;
- выявить и оценить информативность идентификационных признаков разных состояний напочвенного органогенного горизонта в основных почвенно-фитоценоотических экосистемах мира, создать соответствующую информационную базу;
- с использованием различных методов, в т.ч. методов математической статистики разработать комплексную методику определения структурно-функциональных и диагностических свойств напочвенного органогенного горизонта;
- оценить влияние почвенно-климатических факторов на формирование и распределение напочвенных органогенных горизонтов в различных экосистемах;
- провести типизацию экологических ниш напочвенного органогенного горизонта на основе оценки взаимосвязи между комплексом характеристик запасов напочвенного органогенного горизонта и почвенно-климатическими факторами;
- обосновать выбор наиболее информативных параметров малого биологического круговорота для индикации устойчивости экосистем к внешним воздействиям;
- разработать шкалу индикации устойчивости экосистем суши по параметрам малого биологического круговорота;
- на основе параметров шкалы индикации провести диагностику экологического состояния почвенно-фитоценоотических экосистем.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Зависимость запасов подстилки от факторов среды имеет сложный характер: запасы подстилки увеличиваются при повышении температуры и количества наземного опада; запасы подстилки при избыточном увлажнении характеризуются

как максимальными величинами в таежных экосистемах, так и небольшой мощностью подстилки во влажных тропиках.

2. Разработанная комплексная методика позволила рассчитать и обосновать параметры экологических ниш напочвенного органогенного горизонта, различающиеся по объему и мощности для оценки степени устойчивости экосистем к изменениям почвенно- климатических факторов.

3. Наиболее информативными параметрами нисходящей ветви биологического круговорота являются: отношение прироста ($V_{\text{перв}}$) к общей живой фитомассе ($V_{\text{об}}$), скорость высвобождения химических элементов, коэффициент годичной деструкции ($K_{\text{ГД}}$), величина подстилично-опадного коэффициента (ПОК), качественно-количественные показатели которых, отражают степень сбалансированности процессов накопления-разложения и устойчивость в пространстве и во времени в основных почвенно-фитоценоотических экосистемах.

4. Разработана шкала индикации на основе учета параметров деструктивной ветви биологического круговорота, включающая семь типизированных экосистем, различающихся между собой по характеру функционирования и степени устойчивости к изменениям внешней среды.

Научная новизна. Впервые органогенные горизонты рассматриваются как центральный элемент экосистем, по отношению к которым биологические и почвенно-климатические факторы выступают в роли экологической ниши.

На основе обширного фактического материала с применением методов математического анализа разработана комплексная методика типизации экологических ниш напочвенных органогенных горизонтов в аспекте их дифференциации в зависимости от влияющих факторов внешней среды. Проведен многофакторный анализ параметров экологических ниш напочвенных органогенных горизонтов в основных почвенно-фитоценоотических экосистемах суши.

Создана диагностическая шкала параметров нисходящей ветви малого

биологического круговорота и выполнена индикация устойчивости экосистем. На основе учета особенностей сбалансированности процессов накопления и разложения органического вещества, их диагностических параметров показан зональный характер распределения экосистем с различной степенью устойчивости к внешним воздействиям.

Показано, что присутствие в экосистеме различных экотопов, по-разному реагирующих на изменение внешних факторов, осложняет характер ее функционирования одновременным присутствием как стабильных буферных, так и пластичных свойств.

Теоретическая и практическая значимость. Выполненные теоретические, методические и экспериментальные исследования позволяют решать научные и практические задачи по индикации и диагностике состояния почвенно-фитоценоотических экосистем, используя параметры напочвенных органогенных горизонтов, на глобальном, региональном и локальном уровне.

Полученные результаты могут быть использованы при разработке концепции устойчивости основных экосистем мира, основа которой заложена созданием Web-атласа «Россия как система» и карты «Уровень потенциальной устойчивости коренных экосистем России».

Результаты исследования используются Правительством Московской области для оценки изменения ландшафтов севера Московской области вследствие эксплуатации подземного водозабора. Основные материалы исследования размещены в on-line базе данных Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации.

Публикации. По результатам диссертации опубликовано 61 печатные работы, в том числе: монографий - 2, статей в рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК - 24, статей, материалов конференций, тезисов – 37.

Личный вклад автора. Автору лично принадлежат: результаты комплексного анализа экосистем севера Московской области в части, касающейся напочвенных органогенных горизонтов, классификация почвенно-климатических и биологических

факторов, оказывающих влияние на формирование напочвенных органогенных горизонтов; разработка принципов и методов типизации экологических ниш напочвенных органогенных горизонтов; шкала индикации типов функционирования экосистем; оценка и картографирование зональных закономерностей распределения запасов напочвенных горизонтов и пространственной дифференциации почвенно-фитоценологических экосистем по диагностическим параметрам нисходящей ветви малого биологического круговорота и др.

Автор выражает глубокую признательность своим учителям д.г.н., профессору О.П. Добродееву, д.с.-х.н., профессору Б.П. Градусову, д.б.н., профессору Л.О. Карпачевскому за неоценимую помощь в исследованиях, идейное вдохновение, всемерное содействие в работе, без которых данное исследование было бы невозможным.

Апробация работы. Материалы диссертации доложены и обсуждены на: научно - практических конференциях: «Математические методы распознавания образов», «Математика. Компьютер. Образование» (1997, 1999, 2001, 2003 гг.); «Математическая и вычислительная биология» и «Экология» (1999 гг.), на 14-ой Конференции «Экологически чистая (натуральная) и безопасная продукция» (2005 г.), Международной конференции «Актуальные проблемы экологии и природопользования» (2009, 2010, 2011, 2012 гг.), Международной научно-практической конференции «Подготовка инновационных кадров для рынка труда в условиях непрерывного образования» (Екатеринбург, 2012), Конференции Комиссии по экологии и охране окружающей среды Общественной палаты РФ «Год Экологии в России: основные проблемы сферы обращения с отходами и пути их реализации», март, 2017, Первом Рязанском международном экологическом форуме «Здоровая окружающая среда – основа безопасности регионов», 2017г., Восьмой Международной ландшафтной конференции «Современное ландшафтно-экологическое состояние и проблемы оптимизации природной среды регионов», Воронеж, апрель, 2018 г. и других.

Объем и структура работы: работа изложена на 446 страницах; состоит из

введения, шести разделов, заключения; включает 34 таблицы, 94 рисунка и 41 приложение. Список литературы состоит из 451 источника, 48 из которых на английском языке.

ГЛАВА 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

Теоретическую и методологическую основу исследования составили разработки отечественных и зарубежных авторов в области формирования почвенных органогенных горизонтов в основных экосистемах суши. При проведении исследований использованы труды ведущих отечественных ученых по проблематике:

- механизмов участия лесной подстилки (степного войлока) в биологическом круговороте, формировании генетических горизонтов почв, плодородии почв в различных экосистемах (Базилевич, Родин, 1965; Богатырев, 1993, 1996; Глазовская, 1981, 1992; Добровольский, 1990, 2003; Карпачевский, 1983, 1994; Одум, 1975; Сапожников, 1984, 1987; Титлянова, 1995 и др.);
- оценки устойчивости экосистем к внешним воздействиям с использованием информационно-статистических и математических методов (Керженцев, 1996, 1999; Коломыц, 2003; Пузаченко, 1976, 1988; Свирежев, Логофет, 1978 и др.);
- пространственной дифференциации экосистем с различной степенью устойчивости (Кочуров, 2003; Тишков, 1978, 1988 и др.).

Среди зарубежных исследователей важное значение при изучении пространственной дифференциации экосистем по диагностическим параметрам почвенного органогенного горизонта имели работы: Berg, 1982; Goodfellow, 1974; Holten, Paulsen, Oechel, 1993; Dahl, 1993; Kubiena, 1995; Holling, 1973; Ovington, 1961, 1963; Nye, 1958, 1961; Oriens, 1975; Sposito, 1994; Zaidellman, 1997 и др.

Анализ опубликованных материалов показывает, что многим аспектам данной проблемы до настоящего времени не уделялось должного внимания.

Не существует работ, где формирование представлений о почвенном органогенном горизонте были бы всесторонне прослежены, хотя некоторые вопросы рассматривались. При этом не рассматривались вопросы использования параметров почвенных органогенных горизонтов как индикатора функционирования экосистем. В то же время такой анализ необходим при создании сопоставимых рядов данных для решения научной проблемы, поставленной в работе. Вопросам оценки устойчивости экосистем с использованием параметров почвенных органогенных горизонтов уделяется очень мало внимания. В частности, не определен принцип и недостаточно разработаны критерии оценки типов функционирования экосистем, не определены диагностические критерии индикации их состояния, не выявлена пространственная дифференциация экосистем с различными показателями стабильности.

Среди исследователей нет единого мнения по ряду вопросов: зависимости процессов формирования почвенных органогенных горизонтов от различных факторов и инвариантности его мощности в пределах природных зон; методам прогнозирования, позволяющим использовать параметры органогенных горизонтов для диагностики и прогнозирования развития экосистем; оценке способности сохранять качественную определенность и уровень биологического круговорота в разных параметрах биологических или климатических факторов.

Отсутствуют обобщающие теоретические материалы по разработке идентификационных характеристик и их комплексов для объективной оценки структурно-функциональных и диагностических свойств почвенных органогенных горизонтов для прогнозирования пределов воздействия природных факторов на устойчивость экосистем. С этих позиций представленная работа является актуальной.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Диссертационная работа является итогом двадцатилетней научной деятельности автора. В основу работы положены собственные материалы автора, полученные в ходе многолетних исследований на Русской равнине, проводимых в рамках НИР МГОУ «Изменение ландшафтов севера Московской области в результате эксплуатации подземного водозабора для нужд Московской области». В исследовании в качестве исходных материалов использованы: монографии, книги, журналы и научные статьи, отчеты НИР, отраслевые и региональные программы и концепции природопользования и развития территорий, материалы международных и региональных научно-практических конференций и др., зарубежные научно-технические источники, в которых рассматриваются методологические, теоретические и практические аспекты использования параметров напочвенных органогенных горизонтов для определения типа функционирования экосистем. Данные по мощности напочвенных органогенных горизонтов для основных экосистем суши установлены по экспертным источникам ведущих научно-исследовательских институтов (Институт леса им. Сукачева, факультет почвоведения МГУ, Красноярский институт леса СО РАН, Институт леса Карелии СО РАН, Новосибирский филиал института леса СО РАН и др.), а также получены аппроксимацией, исходя из построенных регрессионных моделей.

Данные по мощности напочвенных горизонтов зарубежных территорий получены по литературным источникам (Kubiena, Holling и др.).

В основу работы положена база данных по мощности напочвенного органогенного горизонта в 330 пунктах Земли, наиболее типичных для основных почвенно-фитоценологических экосистем. По каждому пункту с известными запасами подстилки по литературным источникам получены параметры: количества наземного опада (О.н., ц/га), зоомассы и численности редуцентов,

реакции почвенного раствора (рН), окислительно-восстановительного потенциала (ОВП, мВ). Показатели теплообеспеченности ($S_{t>10^{\circ}\text{C}}$) и условий увлажнения (K_u) получены по данным Агроклиматического атласа Мира.

При разработке теоретико-методических основ исследования проблемы использовались методы: геоинформационный, экспертных оценок, картографирования, географического прогноза, математические, таксономический, информационно-статистический метод оценки межкомпонентной сопряженности явления и различных факторов.

Корреляционный анализ использовался для выявления наличия связи между факторами и запасами подстилки, что позволило построить корреляционную матрицу, рассчитанную в относительных величинах, для ранжированных рядов из 330 пунктов, а затем - для каждого из выделенных одиннадцати ареалов. Показано, что связь между запасами подстилки и факторами внешней среды существует значимая связь.

Для выявления роли отдельных факторов в варьировании запасов подстилки и степного войлока в ареалах выполнен *дисперсионный анализ*, позволяющий выделить из общей вариабельности мощности напочвенного горизонта в ареале той части, которая определяется влиянием учитываемых и случайных факторов.

Уравнения линейной регрессии, задающие прогноз значений органогенного горизонта от почвенно-климатических факторов (величина наземного опада O_n , ц/га; сумма активных температур, $S_{t>10^{\circ}\text{C}}$; коэффициент увлажнения, K_u ; реакция почвенного раствора, рН), использовались для прогнозирования запасов подстилки. Моделирование взаимосвязи экологических факторов и запасов напочвенной подстилки в каждом ареале произведено через определение количественной зависимости между значениями переменных и запасами подстилки с помощью *регрессионного анализа*.

Зональный характер распределения запасов напочвенного органогенного горизонта на суше подтвержден с помощью *генерализации* пунктов с известными запасами подстилки, составлена картосхема распределения запасов лесной

подстилки и степного войлока.

Для типизации экологических ниш использован *информационно-статистический метод оценки межкомпонентной сопряженности запасов подстилки в ареалах и факторов внешней среды* (Вентцель, 1969) в поле биологических (величина наземного опада) и климатических (теплообеспеченность, увлажнение, pH среды) факторов (три этапа).

В результате применения данного метода к выделенным в работе одиннадцати ареалам получены числовые характеристики экологических ниш по величине наземного опада и величинам климатических факторов. В качестве таких характеристик выбраны:

- *интервалы запасов подстилки в ареалах* (в результате анализа получены 220 интервалов);
- *объем экологической ниши (V , абс.величина)* для каждого интервала запасов подстилки в ареалах, показывающий какое количество градаций фактора в интервале оказывает существенное влияние на запасы подстилки в нем, т.е. отражает диапазон, который занимает биологический или климатический фактор в различных интервалах ареала;
- *мощность экологической ниши (P , отн.величина)* – определяется как максимальное значение нормированного частного коэффициента связи в каждом интервале ареала и отражает степень сосредоточенности фактора в конкретных его градациях в каждом интервале ареала.

Для характеристики состояния и функционирования органогенных горизонтов использовались следующие параметры (Коломыц, 2003): *упругость, пластичность, резистентность, экологический оптимум*.

- *упругость* - способность подстилки возвращаться в исходное состояние при любых воздействиях факторов, сохранять взаимосвязи внутри системы, способность компенсировать влияние факторов (изменения кривой на графике объема – максимально вариативны, на кривой мощности - минимальны);

- *пластичность* – способность подстилки изменяться под воздействием внешних факторов и через определенное время возвращаться в исходное состояние (на графике объема – максимальное простираие с небольшими вкраплениями-выходами из равновесия, на графике мощности – средние значения);
- *резистентность* (инерционность) - способность подстилки под воздействием факторов изменяться в пределах, принятых для данного ареала (на графике объема – минимальное распространение по вертикали, на графике мощности – значительное разнообразие состояний);
- *экологический оптимум* - такое сочетание экологических факторов, которое в условиях их естественных колебаний обеспечивает природную устойчивость (на графиках - объем характеризуется максимальными показателями (распространение по горизонтали), мощность – минимальными показателями распространения по вертикали).

На первом этапе в работе рассчитаны характеристики экологических ниш всех интервалов ареалов по биологическим и климатическим факторам (220 экологических ниш), для которых по всем факторам построены двухмерные и объемные (трехмерные) графики в программной среде EXCEL. Графики построены для экологических ниш по каждому фактору в зависимости мощности (нормированной частоты), которая была отложена по оси ординат от количества градаций каждого фактора в интервале, отложенного по оси абсцисс. На каждом графике, для каждого интервала, их в каждом ареале 5 (в соответствии с теорией вероятностей (Вентцель, 1969), при заданном количестве выбранных точек в ареале, равном 30, количество интервалов не превышает 5) определено, как распределены значения фактора в интервале – группируются вместе, рассредоточены в одном или нескольких местах интервала в виде отдельных вкраплений, или распределены по нему равномерно.

На втором этапе для соизмеримости объема и мощности, объем (V) нормирован, т.е. каждая расчетная абсолютная величина объема в каждом

интервале ареала поделена на количество градаций фактора (так, например, восьми значимым градациям наземного опада $V=8$ в определенном интервале, V , отн. будет равна отношению абсолютного значения $V=8$ к общему числу градаций наземного опада в этом интервале ареала).

Полученные данные по величинам объема V и мощности P (в относительных величинах) 220 экологических ниш представлены в виде ранжированного ряда, изменяющегося от нуля до единицы. Анализ ранжированных рядов показывает степень сосредоточенности величин V и P на определенных участках ряда, что позволило равномерно разделить ряды и выделить четыре типа экологических ниш, различающихся по объему V и мощности P : 1 тип – V (0,1-0,2), P (0,9-1,0), 2 тип – V (0,3-0,4), P (0,7-0,8); 3 тип – V (0,5-0,7), P (0,4-0,6); 4 тип – V (0,8-0,9), P (0,1-0,3).

Третий этап заключался в сопоставлении каждой, полученной на первом этапе экологической ниши, одному из предложенных выше типов, на основе анализа, позволяющего причислить подстилку к определенному типу по каждому градиенту фактора и охарактеризовать тип функционирования экосистемы.

Параметры экологических ниш отражают устойчивость экосистем, исходя из степени воздействия внешних факторов, оказывающих влияние на почвенный органогенный горизонт. В свою очередь, почвенный органогенный горизонт – как один из важнейших элементов малого биологического круговорота, одним из первых реагирует на нарушение уровня сбалансированности потоков тепла, влаги и химических элементов в экосистемах, являясь индикатором этих изменений. Это позволяет использовать параметры детритной ветви малого биологического круговорота для построения шкалы устойчивости экосистем.

Для построения диагностической шкалы типов функционирования экосистем использовались следующие показатели: отношение прироста ($B_{\text{перв}}$) к общей живой фитомассе ($B_{\text{об}}$), скорость высвобождения химических элементов, коэффициент годичной деструкции ($K_{\text{ГД}}$), величина подстиочно-опадного

коэффициента (ПОК). Анализ проведен в программе Excel, созданы три геоинформационных базы, отражающих экспертные данные и полученные расчетные величины, сделан морфологический анализ каждого ареала, построены графические зависимости и картосхемы функционирования экосистем в зависимости от параметров детритной ветви малого биологического круговорота. На основе полученных данных, используя информационный анализ, построена унифицированная диагностическая шкала, где каждому ареалу соответствует расчетные данные по описываемым параметрам, позволяющим отнести экосистему к определенному типу устойчивости.

Для решения этой задачи:

- определены количественные параметры малого биологического круговорота, характеризующие основные почвенно-фитоценотические экосистемы (общая живая фитомасса; первичная продукция (прирост); отношение первичной продукции к общей живой фитомассе, $V_{\text{перв}}$; общая живая надземная фитомасса; годовая продукция зеленой части (прирост зеленой части; отношение годовой продукции зеленой части к живой надземной фитомассе, $K_{\text{гд}}$) и создана диагностическая шкала устойчивости ареалов, используя данные по восходящей и нисходящей ветвям малого биологического круговорота;
- используя данные о пунктах с различными запасами лесной подстилки (степного войлока) и величине наземного опада в них, полученные из экспертных материалов, произведен расчет подстильно-опадного коэффициента и построены графические зависимости запасов подстилки от величины подстильно-опадного коэффициента, позволяющие оценить степень влияния интенсивности разложения мертвых растительных остатков на формирование органогенных горизонтов. Даны характеристики интенсивности разложения мертвых растительных остатков в ареалах в зависимости от морфофизиологических условий их расположения. Создана шкала устойчивости ареалов, используя данные о величине подстильно-опадного коэффициента в экосистемах с известными запасами подстилки;

- определены количественные и качественные показатели малого биологического круговорота (количество химических элементов в подстилке, количество химических элементов в опаде, интенсивность высвобождения химических элементов, Сгк/Сфк) и создана числовая шкала устойчивости;
- создана унифицированная диагностическая шкала, в которой учтены параметры детритной ветви малого биологического круговорота, в т.ч. интенсивность разложения мертвых растительных остатков (Кгд, ПОК, интенсивность высвобождения химических элементов), позволяющая прогнозировать устойчивость основных почвенно-фитоценологических экосистем.

ГЛАВА 3.

Особенности формирования, сохранения и преобразования напочвенного органогенного горизонта различных экосистем под воздействием почвенно-климатических факторов

На основе проведенного морфологического анализа были выделены основные почвенно-климатические факторы, влияющие на формирование напочвенных органогенных горизонтов экосистем. К ним были отнесены: величина наземного опада (О.н., ц/га), его химический состав, численность и специализацию беспозвоночных животных-консументов и микроорганизмов-редуцентов, теплообеспеченность (сумма активных температур, продолжительность вегетационного периода), условия увлажнения (Ку) и степень аэрации (ОВП, мВ), реакцию почвенного раствора подстилки или верхних горизонтов почв (рН).

Графические линейные регрессионные зависимости мощности органогенного горизонта от факторов внешней среды имеют следующий вид:

$Y = 37,5 - 0,16 X$, Y – подстилка, X - О.н.; $Y = 49,6 - 0,006 X$, Y – подстилка, X - $S_{t>10\text{ }^{\circ}\text{C}}$;

$Y = 5,9 + 16,3 X$, Y – подстилка, X - Ку; $Y = 109,8 - 14,6 X$, Y – подстилка, X - рН

На рис.1 приведен пример результата линейного регрессионного анализа, визуализирующий связь между показателями запасов подстилки (з.н.п., ц/га) и реакции почвенного раствора (рН), который позволяет подтвердить имеющуюся зависимость и спрогнозировать запасы подстилки в тех районах, для которых

такие данные отсутствуют.

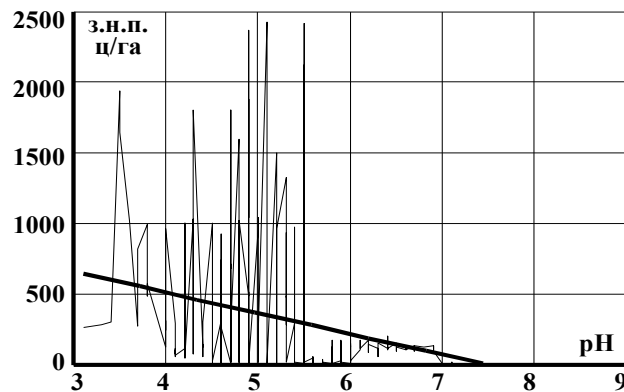


Рис.1. Линейный регрессионный анализ для зависимости «запасы подстилки (з.н.п., ц/га) – реакция почвенного раствора (pH)»

Так, определены запасы подстилки для районов, расположенных на внутренних плато Пиренейского полуострова, где показатели запасов подстилки отсутствуют, но известен коэффициент увлажнения - 0,2-0,3 (коричневые почвы). Они составляют: $y = 59 + 163 x_1$, где $x_1 = K_y$; для $K_y = 0,25$, $y = 10$ т/га.

Очевидно, что через взаимосвязь запасов подстилки и факторов внешней среды определяются как экологические ниши органогенных горизонтов, так и коррелирующие с ними экологические ниши соответствующих почвенно-фитоценоотических ареалов.

Проведен математический анализ зависимости мощности напочвенного органогенного горизонта от количества наземного опада, который выявил ее экспоненциальный характер с отрицательным показателем степени, т.е. с увеличением количества опада – практически единственного источника органического вещества подстилки - мощность подстилки уменьшается (рис. 2).

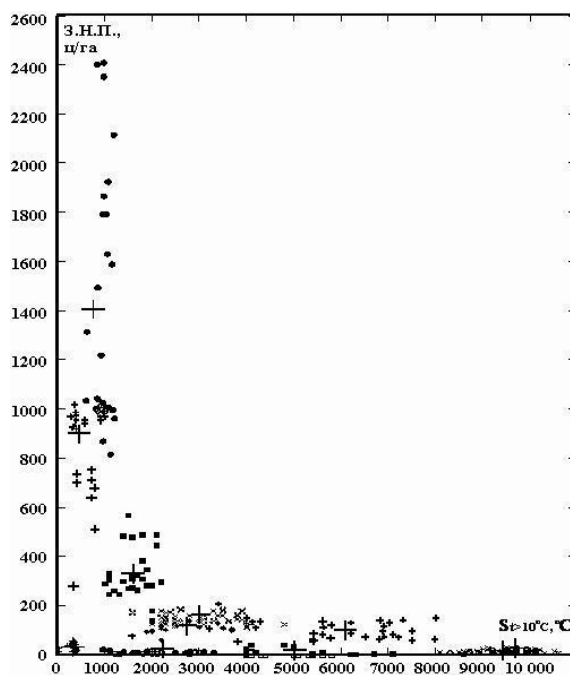


Рис.2. Зависимость запасов напочвенной подстилки (з.н.п., ц/га) от величины наземного опада (О.н., ц/га) ; + центр (среднее арифметическое) ареала

Экспоненциальная зависимость запасов подстилки от суммы активных температур $>10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{год}$, имеющая отрицательный показатель степени, свидетельствует о том, что с возрастанием теплообеспеченности увеличивается скорость разложения и минерализации опада, что связано с усилением активности почвенных редуцентов. Известно, что интенсивность деятельности микробиоты в значительной степени определяется гидротермическими условиями.

Количественная зависимость запасов подстилки от условий увлажнения (K_u) и реакции почвенного раствора (pH) отражает сложный характер взаимосвязи, когда в условиях достаточного и избыточного увлажнения (>1) и кислой реакции среды ($3,5 - 5,5$) формируются запасы подстилки выше 200 ц/га , а минимальные запасы подстилки - при значительной инвариантности по градиенту факторов.

Проведенный корреляционный анализ подтверждает, что связь между запасами подстилки и влияющими факторами (О.н., $S_{t>10^{\circ}\text{C}}$, K_u , pH) существует и эта связь значима, но только изменение значения коэффициента увлажнения сопутствуют систематическому изменению значений запасов подстилки.

Исследование почвенно-климатических факторов, оказывающих влияние на формирование напочвенных органогенных горизонтов, служит основой для выбора приоритетных методических приемов для определения типов экологических ниш.

ГЛАВА 4.

Зональный характер распределения напочвенных органогенных горизонтов в почвенно-фитоценоотических экосистемах

Для проведения дальнейшего анализа объектов с известными запасами напочвенных органогенных горизонтов и повышения точности при использовании математических и статистических методов, имеющиеся данные по запасам подстилки были разделены на *ареалы* ($>0,6$; $0,6 - 1,2$; $1,3 - 1,6$; $1,7 - 2,6$; $2,7 - 6,0$; $6,1 - 12$; $13 - 14$; $15 - 21$; $22 - 47$; $48 - 97$; $98 - 225$ т/га), характеризующиеся определенными параметрами (плотное скопление точек с выборкой не более 30 пунктов, нормальность распределения, сходные условия формирования подстилки). Подтверждение разделения пунктов с различной мощностью подстилки почвенно-фитоценоотических экосистем произведено *таксономическим методом*, где способом обеспечения представительности выборок является их рандомизация на высоком масштабном уровне.

Подтверждение разделения экосистем с различной мощностью подстилки проводили таксономическим методом (рис.3).

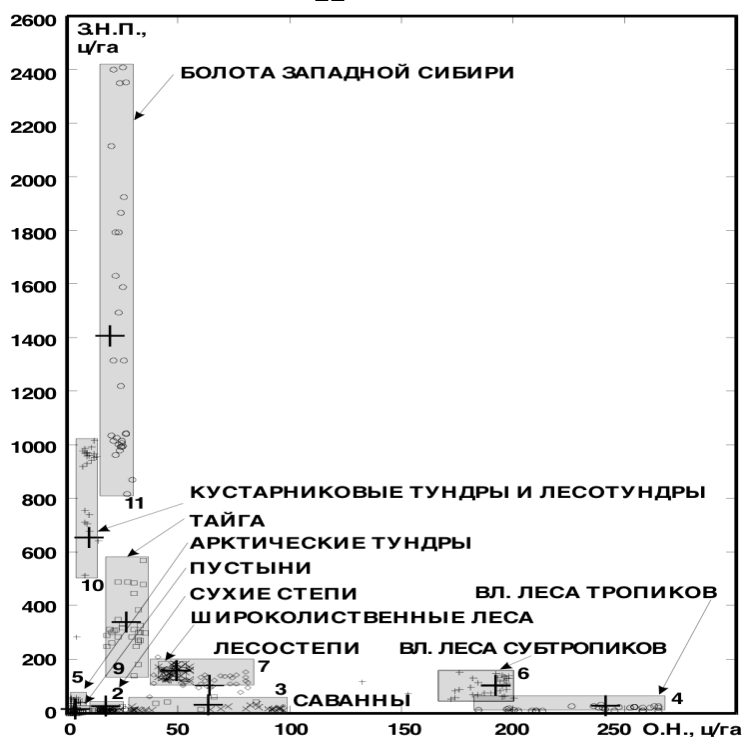


Рис.3. Группировка экосистем с определенными запасами напочвенной подстилки (з.н.п. – запасы напочвенной подстилки, О.Н. – наземный опад)

Для подтверждения того, что данные по запасам подстилки и схема распределения точек с известными запасами подстилки достоверны, определены общие дисперсии, построены регрессионные модели, проведен статистический анализ для каждого из одиннадцати ареалов.

Генерализация имеющихся данных по мощности органогенного профиля с помощью таксономического метода произведена с целью подтверждения зональных закономерностей распределения напочвенного органогенного горизонта в экосистемах суши (рис.4). В результате разделения общего массива данных описаны: таксон с запасами подстилки $> 20,0$ т/га; таксон с запасами подстилки $0,6-20,0$ т/га; таксон с запасами подстилки $< 0,6$ т/га.

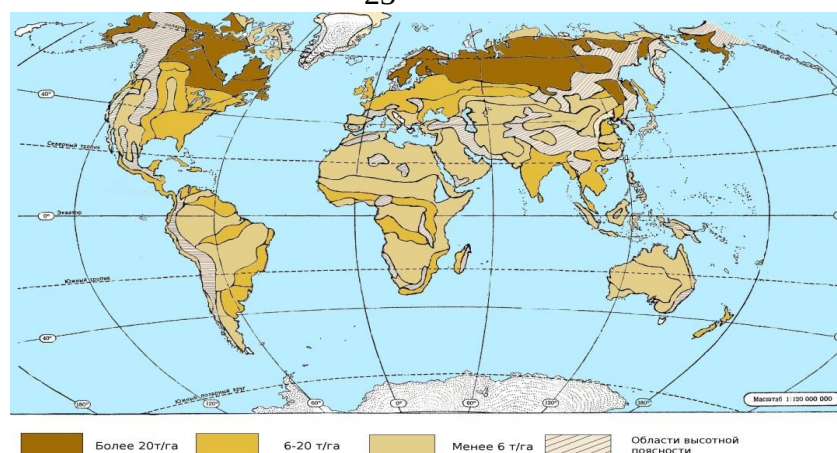


Рис.4. Зональные закономерности распределения напочвенных органогенных горизонтов в таксонах

Мощный органогенный профиль ($>20,0$ т/га) формируется в высоких широтах в бореальном и субарктическом поясах (тайга, лесотундра, кустарничковые тундры, болота Западной Сибири), что обусловлено тем, что длительный зимний период ограничивает деятельность подстилочной фауны, как непосредственно, так и при низком испарении через переувлажнение и создание анаэробных условий, кислой среды и трудно разлагаемого опада таежной и тундровой растительности. На пониженных территориях (например, Западно - Сибирской низменности) возникает постоянное заболачивание, деятельность редуцентов снижается, и запасы напочвенного органогенного горизонта достигают максимальных значений для суши (96,5-255,4 т/га).

Наибольшие для лесных сообществ количества подстилки (24,9-47,0 т/га) формируются в хвойных лесах северной, средней и южной тайги, что также связано со слабой интенсивностью процессов разложения-минерализации.

В субтропическом и умеренном поясах с появлением сезонности и увеличением сумм активных температур за год до $8000-2000^{\circ}\text{C}$ мощность органогенного горизонта составляет 5,9-21,1 т/га.

Минимальные запасы подстилки (<60 т/га) формируются в северных (арктические тундры и полярные пустыни) и в южных широтах (пустыни, влажные тропики, часть умеренного пояса в зоне сухих степей). Во внутритропическом пространстве, где сумма активных температур за год выше $8000^{\circ}\text{C}/\text{год}$, независимо от величины опада активная деятельность подстилочной

фауны разлагает и минерализует практически все растительные остатки.

В арктических тундрах низкая теплообеспеченность ($S_{t>10^{\circ}\text{C}}$ менее 300°C за год и средняя температура самого теплого месяца ниже 6°C) обуславливают низкую активность редуцентов, поэтому мощность напочвенного органогенного горизонта здесь минимальна (2,7-5,9 т/га), как и во внутритропическом пространстве суши. Причина этого - в крайне незначительных величинах наземного опада и в суровых арктических условиях. Очевидно, также часть растительных остатков выносятся постоянными ветрами за пределы зоны.

ГЛАВА 5.

Типизация экосистем на основе оценки взаимосвязи характеристик мощности напочвенного органогенного горизонта и почвенно-климатических факторов

На основе реализации информационно-статистического метода оценки межкомпонентной сопряженности, произведена типизация экологических ниш основных почвенно-фитоценологических ареалов, используя соотношения между запасами подстилки и показателями параметров внешней среды.

В результате применения данного метода к выделенным в работе ареалам получены числовые характеристики экологических ниш по величине наземного опада и величинам климатических факторов (теплообеспеченность, увлажнение, рН среды), характеризующиеся объемом V (абс. вел) и мощностью P (отн.вел.), описаны климатическая и биологическая ниши, определены параметры объема и мощности 220 экологических ниш, получены графические зависимости в виде двухмерных и трехмерных графиков.

Для соизмеримости показателей объема (V , абс. вел.) и мощности (P , отн.вел.) и последующей типизации экологических ниш объем экологической ниши нормирован (показатель изменяется от 0 до 1).

С целью определения сосредоточенности величин объема и мощности в интервале от 0 до 1, полученный массив данных по параметрам 220

экологических ниш ранжирован и проанализирован.

На основе проведенного анализа описаны четыре типа экологических ниш по различным сочетаниям объема и мощности, характеризующих силу связи каждого фактора в конкретном интервале запасов подстилки и отражающих степень устойчивости экосистемы.

Для примера приведена оценка экологических ниш ареала с мощностью напочвенного органического горизонта 33 т/га (северная, средняя и южная тайга).

Дисперсионный анализ показал, что наибольшее влияние на изменение состояния подстилки в таежном ареале с запасами 33 т/га оказывает несколько факторов: величина наземного опада, температура, условия увлажнения, реакция почвенного раствора.

Обобщенные расчетные данные по объему и мощности экологической ниши интервала 22,5-31,1 т/га рассматриваемого ареала по отношению к группе факторов, оказывающих наибольшее влияние на изменение запасов подстилки, приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Параметры экологической ниши ареала с запасами подстилки 33 т/га для интервала 22,5-31,1 т/га

Параметры ниши	Наземный опад	Температура	Коэффициент увлажнения	pH среды
V, абс. вел.	8	5	9	14
P, отн. вел.	0,13	0,24	0,13	0,09

В рассматриваемом ареале биологическая ниша (рис.5) в поле показателей величины опада (объем) широкая и маломощная, что указывает на ее устойчивость. Показано, что рассматриваемый фактор - наземный опад - не является ведущим и, тем более, единственно значимым для ареала, и реализация состояний последнего может определяться другими факторами. Это подтверждается тем, что в распределении подстилки по градиенту фактора, расположенном на горизонтальной оси графика, наблюдается волнообразность, с появлением нескольких вторичных экологических оптимумов на кривой

распределения. Этим объясняется высокая пластичность объекта по отношению к данному фактору, связанная с возможностью использования ресурсов, обеспечиваемых другими параметрами.

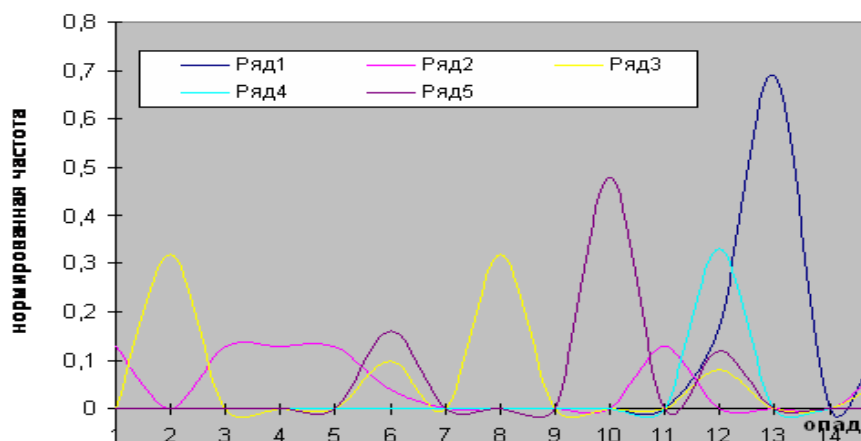


Рис.5. Экологическая ниша ареала с запасами подстилки 33 т/га в поле величины наземного опада.

Условные обозначения: ряды – интервалы запасов подстилки в ареале: ряд 1 – 13,9-22,5 т/га; 2 – 22,5-31,1 т/га; 3 ряд – 31,1-39,7 т/га; 4 ряд – 39,7 – 48, 3 т/га; 5 ряд - 48, 3- 57,0 т/га; по горизонтали - градации фактора: 1 – 18; 2 – 19; 3-20; 4-21; 5-22; 6-23; 7-24; 8-25; 9-26; 10-27; 11-28; 12-29; 13-30; 14-31; по вертикали – нормированная частота(мощность ниши)

Климатическая ниша в рассматриваемом ареале характеризуется минимальным объемом и незначительной мощностью ниши, размытостью по градиенту фактора, наличием нескольких вторичных экологических оптимумов в поле суммы активных температур. Поэтому функционирование подстилки ареала носит сложный характер, что обеспечивается незначительным количеством экологических оптимумов, отсутствием жестких структурных и функциональных связей в подстилке, при наличии дублирующих связей, позволяющих ей мягко реагировать на внешние изменения.

Рассмотренная структура ниши в поле условий увлажнения (рис.6) с максимальным простираем на горизонтальной оси графика (объем) и значительными показателями мощности (вертикальная ось графика) означает, что пространственное распределение подстилки находится в функциональной зависимости от гидротермического фактора: при незначительном влиянии других факторов четко выраженные пики экологического оптимума на кривой распределения по градиенту фактора – наглядное тому подтверждение.

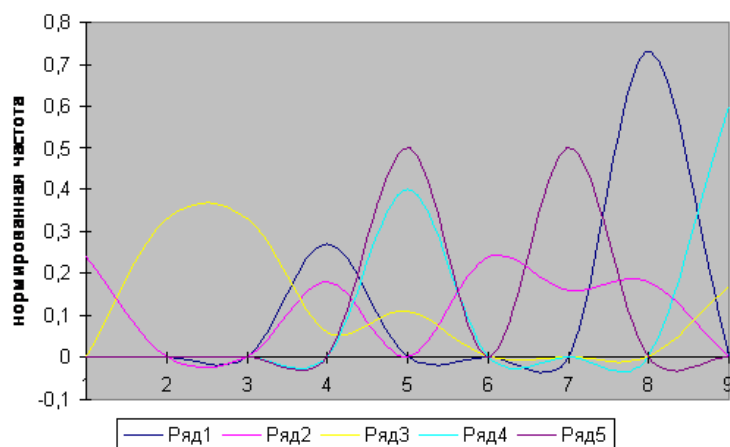


Рисунок 6. Экологическая ниша ареала с запасами подстилки 33 т/га в зависимости от условий увлажнения. Условные обозначения: интервалы обозначены цветом: ряд 1 – 13,9-22,5 т/га; 2 – 22,5-31,1 т/га; 3 ряд – 31,1-39,7 т/га; 4 ряд – 39,7 – 48, 3 т/га; 5 ряд - 48, 3- 57,0 т/га; по вертикали – расчетная величина мощности; по горизонтали - объем, выраженный в градациях Ку: 1-1; 2-1,1; 3 – 1,2; 4-1,3; 5 – 1,4; 6-1,5; 7 – 1,6; 8 – 1,7; 9 – 1,8

На основе результатов дисперсионного анализа показано, что наиболее значимым фактором, оказывающим влияние на варьирование запасов подстилки в ареале с запасами подстилки 33 т/га, является реакция почвенного раствора (рН). Экологическая ниша подстилки по параметру рН представляет собой узкую нишу, в которой количество факторов (объем ниши) минимально, а сила связи (мощность) – велика.

Таким образом, экологическая ниша подстилки ареала, характеризуется сложным характером: одновременно стабильным и пластичным. Распределение подстилки по градиенту факторов указывает на генетическую неоднородность данной выборочной совокупности по разному реагирующей на изменения среды. Поэтому в ближайшем будущем возникает целесообразность выделения новых таксономических единиц объекта. Следовательно, функционирование подстилки, т.е. скорость разложения и накопления органо-минеральной массы даже в пределах отдельных ареалов происходит неравномерно во времени и пространстве и зависит от силы взаимодействующих экологических факторов.

Описанная выше методика анализа данных применена для каждого из 11 ареалов (220 интервалов), описаны четыре типа экологических ниш, различающихся по объему V и мощности P : 1 тип – V (0,1-0,2), P (0,9-1,0); 2 тип – V (0,3-0,4), P (0,7-0,8); 3 тип – V (0,5-0,7), P (0,4-0,6); 4 тип – V (0,8-0,9),

P (0,1-0,3).

Для приведения расчетных параметров объема и мощности в 220 интервалах в соответствие с выделенными типами экологических ниш произведено сопоставление их параметров, что позволило причислить подстилку к определенному типу по каждому рассматриваемому фактору и охарактеризовать тип функционирования экосистемы.

I тип. V (0,1-0,2), P (0,9-1,0). Характеризуется минимальной устойчивостью напочвенного органогенного горизонта вследствие того, что объем ниши – диапазон, который занимает биологический и климатические факторы в различных интервалах ареала очень узок, а мощность ниши показывает максимальную сосредоточенность фактора в конкретных его градациях в каждом интервале ареала.

Подстилка быстро выходит из равновесия даже при незначительном изменении любого фактора внешней среды. Напочвенный органогенный горизонт данного типа может использоваться как первоочередной индикатор изменений в экологическом состоянии экосистем разных типов.

Описанная экологическая ниша характерна для пустынь тропического и экваториального поясов с запасами подстилки менее 0,3 т/га, пустынь арктического пояса с запасами подстилки 3,3 т/га.

Среди ареалов с различными запасами подстилки примеры экологических ниш первого типа по *величине наземного опада* дают: 22,5-31,1; 31,1-39,7 т/га (ареал тайги); 6,2-9,2; 15,2-18,2; 18,1-21,2 т/га (ареал луговых степей); 85,3-92,3 т/га (кустарничковые тундры); 2,0-2,9 га (саванны); 3,0-3,5 т/га (сухие степи); 0,164-0,2 т/га (пустыни). По *термическим условиям* нишу первого типа имеют интервалы: 13,9-22,5; 39,7-48,3 т/га (тайга); 6,9-9,2; 15,2-18,2; 18,2-19,1 т/га (луговые степи); 81,9-114,9 т/га (болота Западной Сибири); 85,3-92,3 т/га (кустарничковые тундры); 3,0-3,5 т/га (влажные тропические леса); 164-0,2 т/га (пустыни). По *условиям увлажнения* не выделено ниш данного типа. По фактору *pH среды* следующие интервалы имеют ниши данного типа: 13,9-22,5; 39,7-48,3;

48,3-57,0 т/га (тайга); 15,2-18,2 т/га; 18,2-21,2 т/га (лесостепи); 180,9-213,9; 213,9-246,9 т/га (болота Западной Сибири); 9,4-11,4 т/га (субтропические влажные леса); 85,3-92,3 т/га (кустарничковые тундры); 3,0-3,5 т/га (влажные тропические леса); 0,02-0,056; 0,164-0,2 т/га (пустыни).

II тип. V (0,3-0,4), P (0,7-0,8) Ниша этого типа достаточно широкая, на что указывает объем ниши, а показатель мощности - степень сосредоточенности фактора в конкретных его градациях - по-прежнему велика. Это позволяет утверждать, что ниша данного типа имеет слабую резистентность. В целом такая подстилка характеризуется незначительным количеством экологических оптимумов, что повышает стабильность функционирования подстилки.

К этому типу экологических ниш отнесены напочвенные органогенные горизонты широколиственных лесов с запасами подстилки 15 т/га и саванн и редколесий с запасами подстилки 16 т/га.

Среди ареалов с различными запасами подстилки к данному типу экологических ниш *по величине наземного опада* относятся интервалы: 64,3-71,3; 71,3-78,3 т/га (кустарничковые тундры); 0,6-0,9 т/га (саванны). По *условиям увлажнения* нами выделены следующие интервалы: 12,2-15,2 т/га (лесостепи); 11,8-13,2; 13,2-14,6; 16,0-17,4; 17,4-18,8 т/га (широколиственные леса); 147,9-180,9; 213,9-246,9 т/га (болота Западной Сибири); 7,4-9,4 т/га (субтропические леса); 4,9-5,9 т/га (арктические тундры). По фактору «кислотность почвенного раствора» выделены следующие интервалы: 1,9-2,4; 2,4-2,9; 2,9-3,4 т/га (саванны); 0,9-1,2 т/га (сухие степи); 1,9-2,9; 4,9-5,9 т/га (арктическая тундра); 0,092-0,128 т/га (пустыни).

Экологические ниши второго типа для экосистем суши наиболее малочисленны. Показатели климатических и биологических ниш некоторых ареалов находятся в пограничном состоянии с другими нишами, что встречается почти во всех основных ареалах.

III тип. V (0,5- 0,7), P (0,4- 0,6); Данный тип отличается от предыдущего сочетанием слабо выраженного экологического оптимума со средними

значениями объема самой ниши. В этом случае резистентность подстилки также резко ослаблена, однако при изменении условий он способен поддерживать свое состояние за счет проявления пластичности и, гораздо меньше – упругости.

К этому типу экологических ниш отнесены органогенные горизонты кустарничковых степей и лесотундр с запасами подстилки 85 т/га, хвойных и смешанных лесов умеренного пояса с запасами подстилки 33 т/га и субтропических лесов с запасами подстилки 10,0 т/га.

Третий тип экологической ниши подстилки представлен достаточно широко. По *наземному опаду* выделен интервал с запасами подстилки 0,9-1,9 т/га. По *температурному градиенту* не выделено ниш данного типа. По *условиям увлажнения* в данный тип ниши входят интервалы: 14,6-16,0 т/га (широколиственные леса); 5,4-7,4; 13,4-15,4 т/га (субтропические леса); 2,9-3,9; 4,9-5,9 т/га (арктические тундры); 0,056-0,092 т/га (пустыни). По зависимости подстилка - рН среды к третьему типу отнесены: 7,4-9,4; 11,4-13,4; 13,4-15,4 т/га (субтропические влажные леса); 0,6-0,9; 1,5-1,8 т/га (сухие степи); 0,9-1,9; 2,9-3,9 4,9-5,9 т/га (арктические тундры).

IV тип. V (0,8-0,9), P (0,1-0,3). При такой структуре экологической ниши подстилка наиболее стабильна, так как максимальное количество градаций фактора оказывает существенное влияние на запасы подстилки в ареале, и они равномерно распределены по конкретному интервалу, а мощность минимальна. Такое сочетание экологических факторов обеспечивает экологической нише природную устойчивость.

Подстилка может варьировать своими структурными переменными без качественных преобразований в максимально широком диапазоне фактора, поэтому она наиболее толерантна к изменениям климатических и биологических факторов. Необходимы чрезвычайно сильные изменения факторов внешней среды, чтобы вывести подстилку четвертого типа за пределы области устойчивости. В самой же нише все градации фактора относительно равновероятны, что указывает на высокоразвитые механизмы адаптации

подстилки к конкретным факторам. Подстилке нет необходимости перестраиваться сколько-нибудь существенно при изменениях факторов в пределах данного диапазона.

К данному типу экологических ниш относится органогенный горизонт лесостепных экосистем с запасами подстилки 12,1 т/га. По наземному *опад*у не выделено ниш данного типа. К четвертому типу *температурной* ниши отнесен интервал 22,5-31,1 т/га (тайга). По *условиям увлажнения* отнесен интервал 9,2-12,2 т/га (лесостепи). По *реакции среды* выделены интервалы: 9,2-12,2 т/га (лесостепи); 11,8-13,2 т/га (широколиственные леса); 1,4-1,9 т/га (саванны).

ГЛАВА 6.

Построение шкалы индикации устойчивости почвенно-фитоценотических экосистем на основе наиболее информативных параметров детритной ветви малого биологического круговорота

Оценка напочвенных органогенных горизонтов почвенно-фитоценотических экосистем с учетом общих закономерностей малого биологического круговорота, в частности, его детритной ветви включает: скорость высвобождения химических элементов, коэффициент годичной деструкции, величину подстилочно-опадного коэффициента.

Показано, что *отношение прироста ($B_{перв}$) к общей живой фитомассе ($B_{об}$)*, играет ключевую роль в малом биологическом круговороте, а величина *коэффициента годичной деструкции (K_{20})* служит для оценки устойчивости круговорота в экосистемах, определяя, в конечном итоге, его интенсивность.

Полученные данные по общей живой надземной фитомассе, годовой продукции зеленой части и интенсивности разложения (K_{20}) для основных ареалов позволили сделать выводы о прямо пропорциональной зависимости отношения коэффициента годичной деструкции к мощности напочвенного органогенного горизонта в основных почвенно-фитоценотических экосистемах (рис.7).

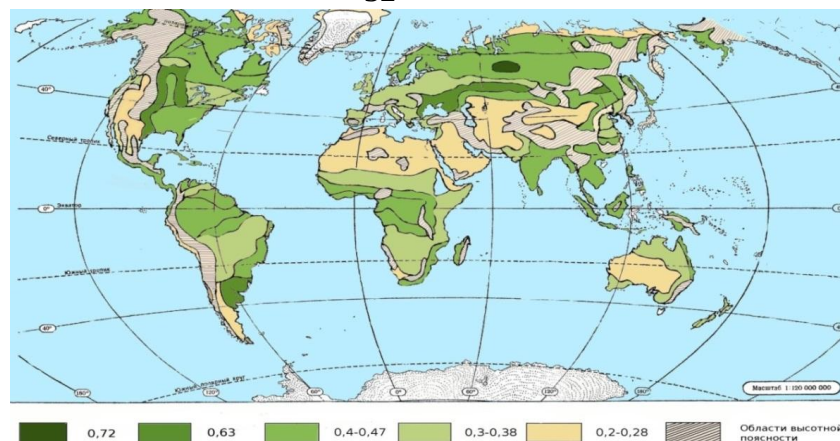


Рис.7. Расчётная величина $K_{ГД}$ в различных экосистемах

Для создания шкалы типов функционирования экосистем необходимо оценить возможность диагностики экосистем по *скорости разложения органического вещества* - параметру, наиболее часто используемому исследователями (подстильно-опадный коэффициент, ПОК, годы). Показано, что наибольшая величина ПОК для зональных сообществ характеризует кустарничковые тундры - 92 (в интразональных сообществах лесных сфагновых болот указанное соотношение превышает 100), затем происходит снижение ПОК в сосняках южной тайги - 17, в березняках - 7, в широколиственных лесах - 3-4, в степях - 1 - 1,5, в субтропических лесах - 0,7, а во влажных тропических лесах ПОК выражается ничтожной величиной - 0,1 (рис.8).

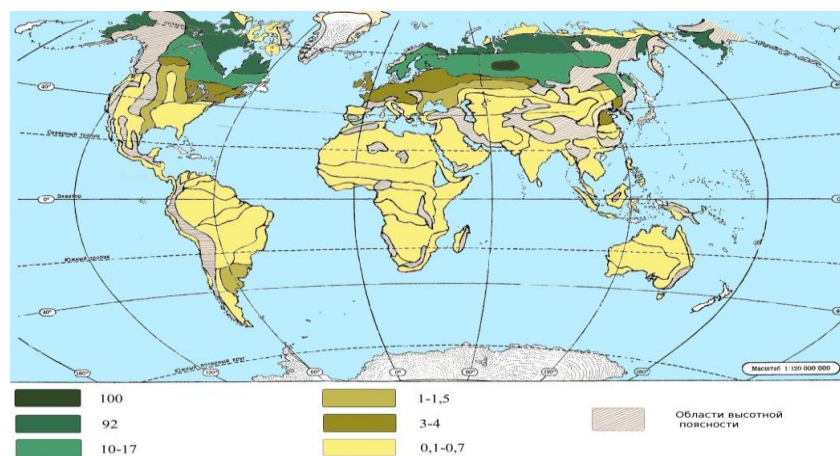


Рис.8. Расчетная величина подстильно-опадного коэффициента в почвенно фитоценоотических ареалах

Относительная величина *интенсивности высвобождения химических элементов* из мертвых растительных остатков может служить одним из количественных показателей, характеризующих роль почвенного органогенного горизонта в устойчивости функционирования экосистем. Именно она отражает скорость закрепления химических веществ в подстилке и возможность перемещения химических веществ по почвенному профилю.

Установлено, что наибольшее количество химических элементов содержится в органопрофиле кустарничковых тундр (ареал с запасами подстилки 48-97 т/га) – 4200 кг/га и сосняков и ельников средней тайги (ареал с запасами подстилки 22-47 т/га) - 1700 – 2200 кг/га, количество возрастает при заболачивании (ареал с запасами подстилки 98-225 т/га) (рис.9).

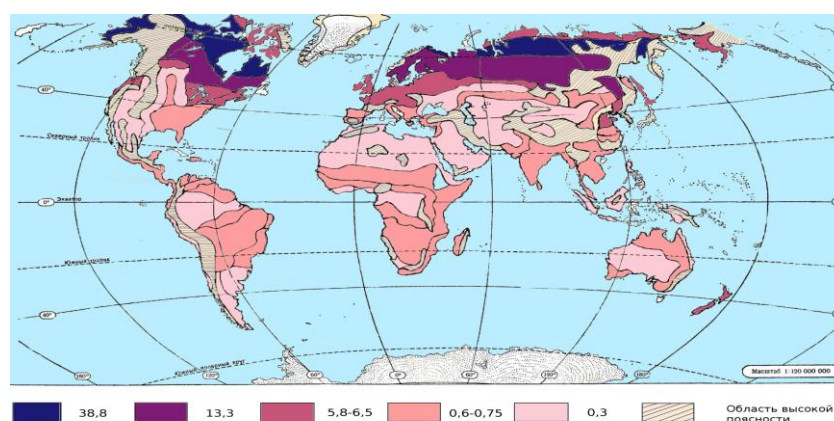


Рис.9. Расчетная величина интенсивности высвобождения химических элементов в почвенно-фитоценоотических ареалах

Анализ данных, отражающих интенсивность высвобождения химических элементов, показывает, что основные ареалы, располагаются в следующий ряд (по убыванию): 98-225 т/га (сфагновые болота), 48-97 т/га (кустарничковые тундры), 22-47 т/га (сосняки, ельники), 2,7-6,0 т/га (арктические тундры), 14-21 т/га (березняки, широколиственные леса), 13-14 т/га (степи), 6-12 т/га (субтропические леса), 1,7-2,6 т/га (влажные тропические леса), 1,3-1,6 т/га (саванны) и 0,6 т/га (пустыни).

В основу создания шкалы индикации почвенно-фитоценоотических экосистем положены: расчетные данные $V_{\text{перв}}/V_{\text{об}}$ и $K_{\text{ГД}}$, величина подстилочно-опадного коэффициента, скорость высвобождения химических элементов и другие параметры малого биологического круговорота. Оценка произведена в баллах от 1 до 7, где наименьшему баллу соответствует минимальная стабильность, а наибольшему - максимальная (табл.2, рис.10).

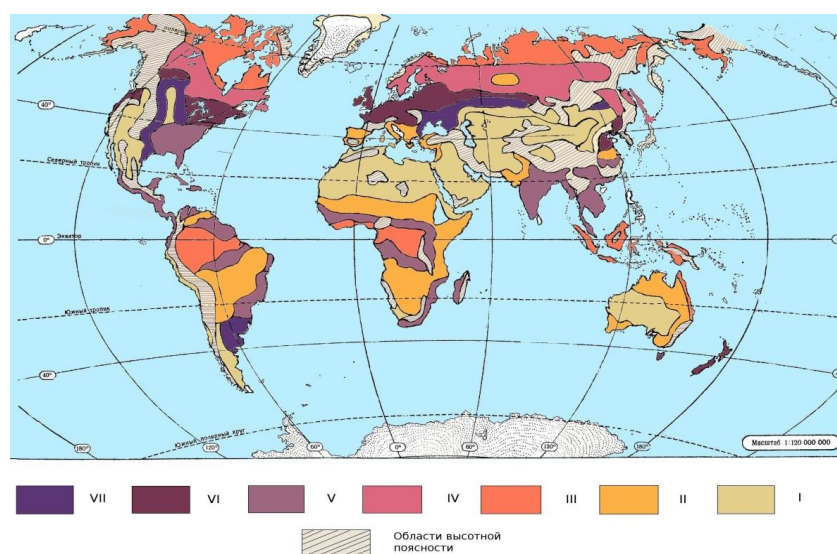


Рис.10. Пространственная дифференциация экосистем по диагностическим параметрам напочвенных органогенных горизонтов (цифры - баллы устойчивости)

В результате анализа параметров малого биологического круговорота установлено, что наименьший балл – 1 - характерен для экосистем, подстилка которых содержит 235 кг/га химических веществ, в то время как в опаде содержится более 894 кг/га. Интенсивность высвобождения химических элементов составляет 0,3. К 1 баллу отнесены подстилки пустынь тропического и субтропического пояса (ареал с запасами подстилки 0,3 т/га).

Ко 2 типу функционирования отнесены области высоких широт (арктические тундры с запасами подстилки 3,3 т/га), для которых характерен суженный биологический круговорот химических элементов, что является следствием как ограниченной продуктивности, а, следовательно, поступления в опад, так и в целом невысокой зольности растений тундры.

Низкий балл стабильности функционирования - 3 - характерен для подстилки ареала саванн и редколесий, где интенсивно протекающие процессы разложения в саваннах (ареал с запасами подстилки < 2 т/га) на фоне промывного режима почв сопровождаются быстрой утратой в стадии подстилки не только органических, но и минеральных веществ. Невысокая стабильность функционирования обусловлена тем, что в ареале формируется слой маломощной подстилки, который в некоторых случаях служит единственным аккумулятивным горизонтом.

Четвертый тип функционирования (4 балла) характеризуется высоким содержанием химических элементов в подстилке (1750 кг/га), в то время как в опаде содержание химических элементов существенно ниже (300 кг/га). Такие показатели круговорота характерны для широколиственных лесов умеренного пояса (ареал с запасами подстилки 15 т/га). Богатство опада основаниями обуславливает довольно интенсивное разложение опада (ПОК 4-7) и образование при гумификации в значительном количестве аккумулятивных форм гумуса.

Уровень стабильности подстилки, оцененный 5 баллами, характеризуется высоким содержанием химических элементов в подстилке (1800-4200 кг/га) при их незначительном количестве в опаде (40-230 кг/га). Интенсивное высвобождение химических элементов (13,3-38,8 кг/га) и скорость разложения мертвого органического вещества указывают на то, что такой тип функционирования характерен для лесотундровых сообществ (ареал с запасами подстилки 85 т/га) и хвойных и смешанных лесов умеренного пояса (тайги) с запасами подстилки 33 т/га.

Тип функционирования, оцененный 6 баллами, отмечен для зон тропических и субтропических лесов, где биологический круговорот протекает значительно менее интенсивно, нежели в условиях умеренных широт.

Незначительная недокомпенсированность малого биологического круговорота, довольно интенсивные процессы разложения мертвых растительных остатков наряду с высоким содержанием гуминовых кислот в почве приводит

к тому, что буферные системы сложных многоярусных сообществ лиственных лесов тропического пояса с богатым подлеском и травяным покровом задействованы практически полностью, а подстилка характеризуется высокой стабильностью.

Максимальная степень устойчивости - 7 баллов - характерна для экосистем с компенсированным характером и высокой интенсивностью биологического круговорота, т.е. для травяных степных сообществ (ареал с запасами подстилки 12 т/га). Формирующиеся под травяными степными сообществами почвы характеризуются ярко выраженной аккумуляцией как органических, так и минеральных веществ (и, прежде всего, таких важнейших элементов питания, как кальций, калий, фосфор и сера) в устойчивой форме. Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод о высокой степени стабильности ареала, несмотря на интенсивные процессы высвобождения химических элементов. Значительное содержание химических элементов, интенсивность и сбалансированность малого биологического круговорота обуславливает высокую степень защищенности биогеоценоза за счет создания буферной зоны химических элементов в мертвых растительных остатках подстилки.

Таблица 2.

Диагностическая шкала типов функционирования экосистем по параметрам малого биологического круговорота

[illegible]

Таким образом, максимальная устойчивость почвенно-фитоценоотических экосистем отмечена для лесостепных экосистем и широколиственных лесов, к северу и югу этот показатель снижается. На севере минимум наблюдается в арктических пустынях, на юге - в пустынных сообществах. В ареалах кустарничковых степей на севере, хвойно-таежных лесов в умеренном поясе и субтропических лесов на юге уровень устойчивости умеренный.

В качестве примера индикации устойчивости экосистем для решения прикладных задач приведены данные по ареалу тайги Западной Сибири, которые сопряжены с результатами полевых и экспериментальных исследований Новосибирского филиала института леса СО РАН. Показано, что данные по количеству химических элементов в опаде и подстилке, скорости деструкционных процессов (ПОК), качественным характеристикам опада являются показателями, отражающими тип функционирования экосистем, и являются индикаторами для определения устойчивости экосистем в условиях данного региона.

Проведен сравнительный анализ материалов и сопряжены данные картосхемы экосистем с различными типами функционирования, карты потенциальной устойчивости коренных систем России (Тишков, 2001) и карты экологической напряженности России (Б.И.Кочуров, 2003), составлены оценочные карты. Полученные результаты сравнимы, взаимно дополняют и обогащают друг друга, позволяя определять устойчивость экосистем России, используя как количественные параметры: масса вещества системы, продуктивность, структурная гармоничность, показатели малого биологического круговорота, так и параметры интегрального районирования систем взаимодействия общества и природы.

Выводы

1. Напочвенный органо-генный горизонт - центральный биогенный объект в определенной почвенно-фитоценоотической экосистеме, развитие и функционирование которого определяется рядом почвенно-климатических

факторов (величиной наземного опада, теплообеспеченностью, условиями увлажнения, реакцией раствора) и совокупность которых трактуется как экологическая ниша. Создана геоинформационная база данных, отражающая мощность напочвенного органогенного горизонта, количество наземного опада (О.н., ц/га), зоомассу и численность редуцентов, реакцию почвенного раствора (рН), окислительно-восстановительный потенциал (ОВП, мВ), показатели теплообеспеченности ($S_{t>10^{\circ}\text{C}}$), условия увлажнения (K_y) в 330 пикетах основных почвенно-фитоценоотических экосистем суши Земли.

2. Разработана и предложена для использования методология, включающая систему методических приемов: методика выяснения зависимости между запасами подстилки и почвенно-климатическими факторами; методика типизации параметров экологических ниш основных ареалов; методика использования параметров малого биологического круговорота для прогнозирования типов функционирования экосистем, включающая: методику использования величины подстильно-опадного коэффициента, коэффициента годичной деструкции, количества химических элементов в опаде и подстилке и интенсивность их высвобождения; методика индикации почвенно-фитоценоотических экосистем на основе параметров детритной ветви малого биологического круговорота.

3. Зависимость запасов подстилки от почвенно-климатических факторов среды имеет сложный характер: запасы увеличиваются при повышении температуры и количества наземного опада; запасы подстилки при избыточном увлажнении характеризуются как максимальными величинами в таежных экосистемах, так и небольшой мощностью подстилки во влажных тропиках, минимальные показатели отмечены для пустынных экосистем тропического пояса при недостаточном увлажнении, низких величинах наземного опада, высокой теплообеспеченности.

4. Для характеристики особенностей функционирования экосистем разработана классификация типов экологических ниш подстилки. Определены четыре типа альтернативных состояний ниш напочвенного органогенного

горизонта, различающиеся по объему и мощности: 1 тип, характерный для пустынь тропического и экваториального поясов с запасами подстилки менее 0,3 т/га, пустынь арктического пояса с запасами подстилки 3,3 т/га; 2 тип – V, включающий в себя широколиственные леса с запасами подстилки 15 т/га, саванны и редколесья с запасами подстилки 16 т/га; 3 тип, к которому отнесены кустарничковые степи и лесотундры с запасами подстилки 85 т/га, хвойные и смешанные леса умеренного пояса (тайги) с запасами подстилки 33 т/га и субтропические леса с запасами подстилки 10,0 т/га 4 тип, характерный для лесостепных экосистем с запасами напочвенной подстилки 12,1 т/га

5. Наиболее информативными параметрами нисходящей ветви биологического круговорота являются: отношение прироста ($V_{перв}$) к общей живой фитомассе ($V_{об}$), скорость высвобождения химических элементов, коэффициент годичной деструкции ($K_{ГД}$), величина подстилочно-опадного коэффициента (ПОК), качественно-количественные показатели которых позволяют судить о степени сбалансированности процессов накопления и разложения, отмеченных в основных почвенно-фитоценоотических экосистемах и отражающих их устойчивость в пространстве и во времени.

6. Деструктивная ветвь малого биологического круговорота оценивается путем учета коэффициента годичной деструкции, величины подстилочно-опадного коэффициента и скорости высвобождения химических элементов и др. Предложена шкала индикации экосистем суши, включающая семь типов экосистем, различающихся между собой по характеру функционирования и уровню стабильности. К первому типу отнесены подстилки пустынь тропического и субтропического поясов с запасами подстилки 0,3 т/га; замыкают ряд экосистемы травяных степных сообществ с запасами подстилки 12 т/га с компенсированным характером биологического круговорота и его высокой биологической интенсивностью.

Основные публикации по теме диссертацииВ изданиях из списка ВАК

1. Попова, Н.В., Трифонова, Т.А. Особенности формирования и функционирования напочвенного органогенного горизонта почвенно-фитоценоотических экосистем зонального и аazonального типов // Проблемы региональной экологии, №3, 2018. В печати.
2. Попова, Н.В., Трифонова, Т.А. Некоторые подходы к моделированию экологических ниш напочвенного органогенного горизонта в основных почвенно-фитоценоотических экосистемах //Экология урбанизированных территорий, №2, 2018. В печати.
3. Попова Н.В. Параметры детритной ветви малого биологического круговорота как основа для определения устойчивости почвенно-фитоценоотических экосистем с различными запасами подстилки // Проблемы региональной экологии. - №4.-2017. – С.64-69.
4. Попова Н.В. Рациональное природопользование напочвенным органогенным горизонтом как основа для сохранения устойчивости урбанизированных территорий // Экология урбанизированных территорий.- №3. -2017.-С.6-11.
5. Попова Н.В. Использование напочвенного органогенного горизонта как буферной системы в биогеоценозах урбанизированных территорий//Экология урбанизированных территорий. - №3. - 2016. – С.18-23.
6. Попова Н.В. Характеристика условий формирования, основных и диагностических свойств напочвенного органогенного горизонта на примере ареала с запасами подстилки 0,3 т/га // Проблемы региональной экологии. - №6. - 2016. – С.65-71.
7. Попова Н.В. О роли литогенной основы в развитии природно-территориальных комплексов //Экология урбанизированных территорий, №4, 2016. - С.16-21.
8. Попова, Н.В. Экологическая роль литогенной основы в дифференциации

ландшафтной сферы и формировании напочвенных органогенных горизонтов / Н.В. Попова, В.Б.Михно // Вестник РУДН. Серия «Экология и безопасность жизнедеятельности». – Москва, 2012. - №1. – С. 99-101.

9. Попова, Н.В. Роль литогенной основы в формировании напочвенных органогенных горизонтов ландшафтной сферы / Н.В. Попова, В.Б.Михно // Проблемы региональной экологии. – Москва, 2012. – №2. – С.14-18
- 10.Попова, Н.В. Напочвенные органогенные горизонты как индикатор пространственной дифференциации и состояния ландшафтной сферы / Н.В. Попова, В.Б.Михно // Проблемы региональной экологии. – Москва, 2012. - №3. – С.29-32.
- 11.Попова, Н.В. Оптимизация ландшафтно-экологической обстановки с использованием метода индикации наземного варианта ландшафтной сферы / Н.В. Попова, В.Б.Михно // Вестник Воронежского гос. Университета. Сер.: География. Геоэкология. - Воронеж, 2012. - № 1.- С.21-29.
- 12.Попова, Н.В. Напочвенные органогенные горизонты как индикатор пространственной дифференциации и состояния ландшафтной сферы / Н.В. Попова, В.Б. Михно // Вестник Воронежского гос. Университета. Сер.: География. Геоэкология. - Воронеж, 2012 . - № 1 . - С.29-35.
- 13.Попова, Н.В. Исследования Н.И. Базилевич как предтеча географических закономерностей распределения запасов подстилки и использования данных по запасам подстилки для диагностики типов функционирования экосистем / Н.В.Попова // Проблемы региональной экологии. – Москва, 2011. - №1. - С. 121-126.
- 14.Попова, Н.В. Эколого-географические особенности формирования напочвенных органогенных горизонтов в экосистемах основных биогеографических зон Мира / Н.В.Попова // Проблемы региональной экологии. - Москва, 2010. - №1. - С.95-102.
- 15.Попова, Н.В. Шкала оценки параметров малого биологического круговорота в экосистемах основных биогеографических зон мира / Н.В.Попова //

Вестник РУДН. Серия «Экология и безопасность жизнедеятельности». - Москва, 2010. - №3. - С.35-41.

16. Попова, Н.В. Структурно-функциональная роль подстилки и экологические условия ее формирования в экосистемах / Н.В.Попова // Вестник РУДН. Серия “Экология и безопасность жизнедеятельности”. – Москва, 2009. - №1. - С.21-24.
17. Попова, Н.В. Параметры малого биологического круговорота как основа для прогнозирования типов функционирования экосистем / Н.В.Попова // Проблемы региональной экологии. – Москва, 2009. - №2. – С.32-37.
18. Попова, Н.В. Экологические ниши напочвенных органогенных горизонтов в основных биогеографических зонах Мира / Н.В.Попова // Проблемы региональной экологии. – Москва, 2009. - №4. – С. 92-96.
19. Попова, Н.В. Зонально-региональные закономерности распределения напочвенных органогенных горизонтов в экосистемах суши / Н.В.Попова // Проблемы региональной экологии. – Москва, 2009. - №6. - С. 88-91.
20. Попова, Н.В. Особенности влияния экологических факторов на формирование напочвенных органогенных горизонтов в основных экосистемах суши / Н.В.Попова // Проблемы региональной экологии. – Москва, 2009. - №6. - С. 192-197.
21. Попова, Н.В. Параметры малого биологического круговорота как основа для моделирования типов функционирования экосистем / Н.В.Попова // Вестник РУДН. Серия «Экология и безопасность жизнедеятельности». – Москва, 2008. - №4. - С.10-16.
22. Попова, Н.В. Методы определения скорости высвобождения химических веществ из подстилки / Н.В.Попова // Вестник РУДН. Серия «Экология и безопасность жизнедеятельности». - Москва, 2007. - №1(15). С.19-26.
23. Попова, Н.В. Шкала оценки малого биологического круговорота как основа для прогнозирования типов функционирования экосистем основных биогеографических зон мира / Н.В.Попова // Вестник РУДН. Серия «Экология и безопасность жизнедеятельности». - Москва, 2007. - №1(15). –

С.27-31.

24. Попова, Н.В. Зависимость запасов напочвенной подстилки от термических условий / Н.В. Попова, О.П. Добродеев // Почвоведение - Москва, 2000. - №12. - С.1437-1438.

Монографии, статьи, доклады, тезисы в трудах и материалах симпозиумов

1. Попова, Н.В., Трифонова, Т.А. Использование диагностической шкалы параметров детритной ветви малого биологического круговорота для прогнозирования устойчивости основных почвенно-фитоценологических экосистем // Тезисы докладов IX Международной научно-практической конференции «Экология речных бассейнов» – Суздаль, 2018. В печати.
2. Попова, Н.В., Трифонова Т.А. Мониторинг устойчивости экосистем по параметрам напочвенного органогенного горизонта // Современное ландшафтно-экологическое состояние и проблемы оптимизации природной среды регионов: материалы XIII ландшафтной конференции, посвященной столетию со дня рождения Ф.Н.Милькова. - Воронеж. - 2018. – Том 2. – С.351-352.
3. Попова, Н.В., Трифонова, Т.А. Использование для оценки состояния экосистем параметров напочвенного органогенного горизонта // Сборник трудов Первого Рязанского международного экологического форума «Здоровая окружающая среда – основа безопасности регионов» – 2017. - Том II. - С.128-129.
4. Попова, Н.В. Индикация состояния ландшафтной сферы по параметрам напочвенных органогенных горизонтов / Н.В. Попова, В.Б.Михно // Тезисы ежегодной всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы экологии и природопользования». - Эл. версия издания: <http://web-local.rudn.ru/web-local/prep/rj/index.php?id=270&p=10512> – Москва, 2012.- С.469-472.
5. Попова, Н.В. Использование инновационных подходов в эколого-правовом воспитании подрастающего поколения в условиях непрерывного образования / Н.В. Попова, И.В. Щепеткина // Подготовка инновационных

кадров для рынка труда в условиях непрерывного образования: материалы Международной научно-практической конференции. – Екатеринбург: Изд-во Урал. гос. экон. ун-т, 2012. – С.197-203..

6. Попова, Н.В. Диагностические параметры почвенных органогенных горизонтов ландшафтной сферы как основа пространственной дифференциации экосистем с различными типами функционирования / Н.В. Попова, В.Б.Михно // Экономика природопользования. – Москва, 2012. - №1. – С. 59-62.
7. Попова, Н.В. Пространственная дифференциация экосистем по диагностическим параметрам почвенных органогенных горизонтов / Н.В. Попова – М. : ИД «Камертон». — ISBN 978-5-904142-05-6.- 2012.- 254 с.
8. Попова, Н.В. Закономерности распределения запасов почвенных органогенных горизонтов / Н.В. Попова – Saarbrücken: ИД “LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co”. – ISBN 978-3-8473-9041- 1.- 2012.- 189 с.
9. Попова, Н.В. Пространственная дифференциация экосистем с различными типами функционирования по диагностическим параметрам почвенных органогенных горизонтов / Н.В.Попова // Тезисы докладов международной конференции «Актуальные проблемы экологии и природопользования». Москва, 2011. - С.160-163.
- 10.Попова, Н.В. Оценка малого биологического круговорота экосистем по параметрам почвенного органогенного горизонта для решения проблемы устойчивого развития / Н.В.Попова // Экономика природопользования. – Москва, 2010. - №3. – С.25-33.
- 11.Попова, Н.В. Эколого-географические особенности формирования и распределения почвенных органогенных горизонтов в экосистемах основных биогеографических зон Мира / Н.В.Попова // Тезисы докладов международной конференции «Актуальные проблемы экологии и природопользования». Москва, 2010. - С.222-224.
- 12.Попова, Н.В. Эколого-географические особенности формирования и распределения почвенных органогенных горизонтов в экосистемах

основных биогеографических зон Мира / Н.В.Попова // В сб. научных трудов «Актуальные проблемы экологии и природопользования». - Москва. – ИПЦ «Луч». - 2010. - С.222-224.

- 13.Попова, Н.В. О роли и значении типов функционирования экосистем в устойчивом развитии территории и сохранении биологического разнообразия / Н.В.Попова // Экономика природопользования. - Москва, 2009. - №6. - С.89-95.
- 14.Попова, Н.В. Географические закономерности распределения запасов подстилки и экологическая роль почвенного органогенного горизонта для диагностики функционирования экосистем / Н.В.Попова // Тезисы докладов Международной конференции «Актуальные проблемы экологии и природопользования». - Москва, 2009. - С.35-37.
- 15.Попова, Н.В. Использование данных по скорости освобождения химических элементов для диагностики стабильности функционирования экосистем / Н.В.Попова // Экономика природопользования. – Москва, 2008. - №5. - С.45-52.
- 16.Попова, Н.В. Экологические ниши ареала как часть биоклиматической системы / Н.В.Попова // Экономика природопользования. - Москва, 2007. - №3. - С.104-110.
- 17.Попова, Н.В. Методы использования данных по скорости освобождения химических элементов из подстилки для диагностики устойчивости экосистем / Н.В.Попова // Экологические системы и приборы. – Москва, 2007. - №4. - С.16-21.
- 18.Попова, Н.В. Диагностика устойчивости экосистем по интенсивности процессов трансформации органического вещества подстилки и других органо-генных горизонтов / Н.В.Попова // Экологические системы и приборы. – Москва, 2007. - №5. - С.3-8.
- 19.Попова, Н.В. Анализ зависимости запасов подстилки от экологических факторов / Н.В.Попова // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. – Москва, 2007. - №6. - С.93-99.

- 20.Попова, Н.В. Диагностика устойчивости экосистем с помощью системы числовых показателей / Н.В.Попова // Экономика природопользования. – Москва, 2006. - №1. - С.45-49.
- 21.Попова, Н.В. Методика диагностики устойчивости экосистем по качественным и количественным параметрам органогенных горизонтов / Н.В.Попова // Проблемы окружающей среды и рационального природопользования. – Москва, 2006. - №10. - С.85-88.
- 22.Попова, Н.В. Методика определения экологических ниш ареалов с позиций их потенциальной устойчивости / Н.В.Попова // Проблемы окружающей среды и рационального природопользования. - Москва, 2006. - №10. - С.77-81.
- 23.Попова, Н.В. Зависимость запасов напочвенной подстилки от величины наземного опада и скорости его разложения – как индикатор функционирования экосистем / Н.В.Попова // Экономика природопользования. – Москва, 2005. - №2. - С.105-110.
- 24.Попова, Н.В. Экологические основы рационального природопользования напочвенной подстилкой / Н.В.Попова // Экологические системы и приборы.- Москва, 2005. - №3.- С.6-8.
- 25.Попова, Н.В. Влияние тепла и влаги как исходных данных малого биологического круговорота на формирование запасов напочвенной подстилки / Н.В.Попова // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. - Москва, 2005. - №4. - С.91-99.
- 26.Попова, Н.В. Методика исследования зонально-региональных особенностей распределения запасов подстилки в экосистемах суши / Н.В.Попова // Проблемы окружающей среды и рационального природопользования.- Москва, 2005. - №10. – С.35-38.
- 27.Попова, Н.В. Зонально-региональные особенности распределения запасов подстилки на территории суши / Н.В.Попова // Экономика природопользования. – Москва, 2005. - №6. - С.73-79.
- 28.Попова, Н.В. Экологические основы рационального природопользования /

- Н.В.Попова // Экономика природопользования. – Москва, 2004. - №5. - С.39-41.
- 29.Попова, Н.В. Влияние экологических факторов на напочвенную подстилку / Н.В.Попова // Экономика природопользования. – Москва, 2004. - №10. - С.44-49.
- 30.Попова, Н.В. Влияние напочвенной подстилки на сохранение природных экосистем / Н.В.Попова // Экономика природопользования. - Москва, 2004. - №10. - С.49-54.
- 31.Попова, Н.В. Методика выделения географических закономерностей распределения запасов напочвенной подстилки для рационального природопользования / Н.В.Попова // Экономика природопользования. - Москва, 2000. - №3. - С.23-26.
- 32.Попова, Н.В. Рациональное природопользование напочвенными подстилками. Влияние напочвенных подстилок на сохранение природных экосистем / Н.В. Попова // Экономика природопользования. – Москва, 1999. - № 5. - С.75-78.
- 33.Попова, Н.В., Добродеев О.П. Анализ ландшафтов суши по распределению запасов напочвенной подстилки в них /Н.В. Попова, О.П. Добродеев // Тезисы докладов 6 Международной конференции «Математика. Компьютер. Образование.» Пущино, 1999. С.89-90 .
- 34.Попова, Н.В. К вопросу определения географических закономерностей распределения запасов напочвенной подстилки на поверхности суши / Н.В.Попова // Тезисы докладов на 4 Пущинской конференции молодых ученых, секция «Экология». – Пущино,1999.-С.13-14.
- 35.Попова, Н.В. Зависимость запасов напочвенной подстилки от факторов, влияющих на ее накопление / Н.В.Попова // Тезисы докладов на 4 Пущинской конференции молодых ученых, секция “ Экология”. – Пущино, 1999. - С.13-17.
- 36.Попова, Н.В. Анализ взаимовлияния экологических факторов на запасы напочвенной подстилки / Н.В.Попова // Тезисы докладов 4 Пущинской

школы молодых ученых, секция «Математическая и вычислительная биология». – Пущино, 1999.- С.16-17.

- 37.Попова, Н.В. Об одном подходе к решению проблемы выявления географических закономерностей распространения мертвого органического вещества / Н.В.Попова // Тезисы докладов 8-й Всероссийской конференции «Математические методы распознавания образов. - Пущино, 1997. - С.203-204.