



УДК 577.4 + 631.48

СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ ЕДИНСТВО РАСТИТЕЛЬНОСТИ И ПОЧВЫ – МЕХАНИЗМ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЭКОСИСТЕМ (В СВЯЗИ С ПОСАДКОЙ КИОТСКИХ ЛЕСОВ В СТЕПНОЙ ЗОНЕ)¹

**Н.Н. Зеленская,
А.С. Керженцев**

*Институт фундаментальных
проблем биологии РАН,
Россия, 142290 г. Пущино,
ул. Институтская, 2*

E-mail: zelen_1@rambler.ru

Структурно-функциональное единство растительности и почвы в экосистеме базируется на метаболизме (циклической смене двух процессов: синтеза органического вещества из минеральных элементов с помощью солнечной энергии автотрофами и деструкции отработавшей ресурс и отмершей биомассы гетеротрофами). Целесообразность такого единства состоит в производстве живой органики, максимально возможной в климатических условиях каждой природной зоны. Изменение любого структурного компонента в экосистеме ломает весь механизм функционирования и приводит к новой структуре.

Ключевые слова: природные экосистемы, структурно-функциональная организация, единство «почва – растение».

Введение

Внедрение человека в природные процессы привело к значительному изменению первоначального облика ландшафтов, подрыву биологического разнообразия и изменению структуры многих природных систем. Лесостепная и степная зоны, издревле привлекавшие человека, как наиболее удобные для поселения и хозяйственного использования, подверглись наиболее интенсивному антропогенному прессу и в большей степени пострадали от вмешательства человека. Современный лесостепной ландшафт представлен урбанизированными территориями и примыкающими к ним распаханymi полями, с крошечными вкраплениями лесов на непригодных для распашки холмах и в поймах рек. Ненарушенных степных участков практически не осталось – лишь островки на неудобьях и малые по площади заповедники на месте спасенных Докучаевым от пахоты степных стационаров. По оценке Всемирной комиссии по охраняемым природным территориям (МСОП), из всех наземных биомов травяные экосистемы умеренных широт наименее защищены – только 1% площади степей находится в охраняемых зонах. В России только 0.11% площади степной зоны обеспечено охраной [1]. Чтобы не утратить окончательно уникальную экосистему степей, нужно с особой тщательностью выбирать меры использования и охраны. Необходимо искать научно обоснованные подходы к решению тех или иных конкретных задач. Иначе говоря, выбор мероприятий должен основываться на знании механизмов функционирования природных экосистем.

В последнее время в рамках Киотского протокола набирают обороты мероприятия по предотвращению выбросов углерода в атмосферу. Одним из самых «экологичных» проектов этого цикла считается увеличение объемов углерод-депонирующих насаждений (УДН). Проект финансируется международными организациями и с энтузиазмом воспринят хозяйствующими субъектами в нашей стране. По плану Рослесхоза РФ планируется уже к 2012 г облесить территории на площади в 34 тыс. га в восьми субъектах страны [2]. Однако есть одно условие, которое делает посадку этих лесонасаждений небесспорными. По условиям договора, для создания УДН могут быть использованы только земли, «ранее не занятые лесом в течение последних 50 лет». На практике это означает, что увеличение лесных площадей произойдет в основном не за счет восстановления утраченных лесов, а путем облесения степных пустошей и залежей, где не происходит спонтанного облесения. В первую очередь, сюда попадают существующие в составе сельскохозяйственных угодий степные участки на неудобьях. Наибольшие по масштабу работы запланированы в лесостепной и степной зоне России и Украины. Белгородская область является «передовиком» в этой программе. Процесс облесения уникальных меловых склонов в Белгородской области идет опережающими темпами [3].

¹ Работа выполнена и рекомендована к публикации на основе доклада, представленного на XII Международной научно-практической экологической конференции «Структурно-функциональные изменения в популяциях и сообществах на территориях с разным уровнем антропогенной нагрузки (Белгород, 9-12 октября 2012).



Цель данного сообщения – показать необходимость целостного, функционального подхода при освоении таких многокомпонентных образований как экосистемы; продемонстрировать опасность необдуманного вмешательства в природные экосистемы.

Методы и подходы

Основоположники исследования природных систем как целостных образований [4, 5, 6, 7] отмечали необходимость выделения «физиологически значимой» единицы биосферы, где разномасштабные и разновременные характеристики можно было бы сопоставлять и анализировать. Такими «функциональными ячейками» биосферы являются экосистемы.

Термин «экосистема» для обозначения единства живых организмов с окружающей их средой был введен английским ботаником А. Тенсли [8]. Некоторое время понятие оставалось во многом абстрактным. Ю. Одум [9] конкретизировал и расширил толкование этого термина: «Любая единица (биосистема), включающая все совместно функционирующие организмы (биотическое сообщество) на данном участке и взаимодействующая с физической средой таким образом, что поток энергии создает четко определенные биотические структуры и круговорот веществ между живой и неживой частями, представляет собой экологическую систему или экосистему». В такой трактовке не достает только масштабной оценки – экосистемой признается и капля воды, и мировой океан, и биосфера в целом.

Наиболее перспективным является представление об экосистеме как синониме биогеоценоза, который по образному выражению Н.В. Тимофеева-Рессовского представляет собой «экосистему в границах фитоценоза» [10]. Биогеоценоз определяют как «участок земной поверхности, где на известном протяжении биоценоз (фитоценоз, зооценоз и микроценоз) и отвечающие ему части атмосферы, литосферы, гидросферы и педосферы остаются однородными, тесно связанными между собой также однородными взаимодействиями и поэтому в совокупности образующими единый, внутренне взаимообусловленный комплекс» [11, 12].

В поисках общего критерия для комплексного описания растительности, почвы и климатических факторов Л.Г. Раменский пришел к заключению, что «путь изучения от частей, взятых вне связи с целым (фитоценотический метод, химико-морфологическое направление в почвоведении) порочен и бесплоден. Мы должны подходить к части, к отдельному компоненту ценоза (биогеоценоза) от целого, от ценоза в целом. Обобщающим признаком, единым мерилом является экология, где геоботанические, почвенные, климатические и другие показатели должны быть обобщены, систематизированы и выражены в экологически (физиологически) значимых и сопоставимых величинах, имеющих определенное значение для жизни организмов биогеоценозов» [6].

На наш взгляд, таким физиологически, функционально значимым критерием для определения экосистем (биогеоценозов) является понятие метаболизма. Действительно, геологическая роль (в определении В.И. Вернадского) «живого вещества» на Земле состоит в улавливании и преобразовании солнечной энергии. Зеленые растения, способные в процессе фотосинтеза преобразовывать минеральные вещества в органические, образуют сообщества так, чтобы максимально эффективно улавливать солнечную энергию. В процессе эволюции определяющим фактором выживания видов в сообществе является сохранение ими своей геохимической функции [4, 13]. Сам процесс эволюции представляет собой регулируемый процесс, который происходит только в биогеоценозе, где биогеоценоз выступает как управляющее устройство при эволюции отдельных видов. Иначе говоря, эволюции подвергаются не отдельные виды как таковые, эволюция – это «притирание» и отбор видов в процессе совместного функционирования в изменяющихся условиях среды [13, 14, 15].

Любая экосистема представляет собой единство растений (фитоценоза), почвы (педоценоза) и животных (зооценоза, в том числе и человека), которые составляют относительно автономную систему, максимально пригодную, «подогнанную» к условиям какой-то климатической зоны и существующую в динамическом равновесии с условиями внешней среды. Биосфера может быть представлена как сумма функциональных ячеек (экосистем). В основу представлений о функционировании таких ячеек биосферы может быть положен принцип «экосистемного круговорота» или метаболизма экосистем [16]. Он заключается в циклической смене синтеза органического вещества из минеральных элементов автотрофами с помощью солнечной энергии и деструкции отработавшей ресурс и отмершей биомассы гетеротрофами, с возвратом минеральных элементов в новый цикл фотосинтеза. Лишь малая часть органики выходит за пределы биологического круговорота, попадая в большой геологический круговорот и меняя постепенно облик земной поверхности [4].



Результаты и их обсуждение

Концептуально модель экосистемы можно представить как практически замкнутый круговорот вещества (рис. 1), находящегося в экосистеме в различных состояниях и позволяющих воспроизводить новый цикл синтеза. По качественному состоянию синтезированное вещество в экосистеме можно условно разделить на функциональные блоки: «живое вещество» (BM – биомасса), «разлагающееся вещество» (NM – некротомасса), «минерализованное вещество» (MM – минеральная масса). Процессы, регулирующие переход вещества из одного состояния в другое, можно обозначить как анаболизм, некроболизм и катаболизм [17]. Анаболизм (ANB) – это ассимиляция органического вещества из неорганического зелеными растениями в процессе фотосинтеза; некроболизм (NKB) – постепенное отмирание и передача части органики в жизненно важные части системы; катаболизм (КТВ) – это деструкция сложных органических молекул до

минеральных компонентов для нового цикла синтеза.

Причем, любой из этих процессов имеет двойственную природу. Биосинтез (bsn) всегда подразумевает частичный отток образованной органики, например на дыхание, а деструкция или минерализация (min) всегда сопровождается промежуточным синтезом, например, гуминовых веществ в почве (gum). Таким образом, каждый из магистральных потоков вещества в свою очередь связан процессами синтеза и распада органического вещества внутри потока. Анаболизм – это синтез минус дыхание, катаболизм – распад сложных органических молекул и синтез из их фрагментов гуминовых соединений почвы, некроболизм – это процесс оттока вещества из живых и отмирающих органов и переход его в новые органы и новое потомство. В процессе эволюции подбирается такое сообщество живых организмов, которое позволяет авто-

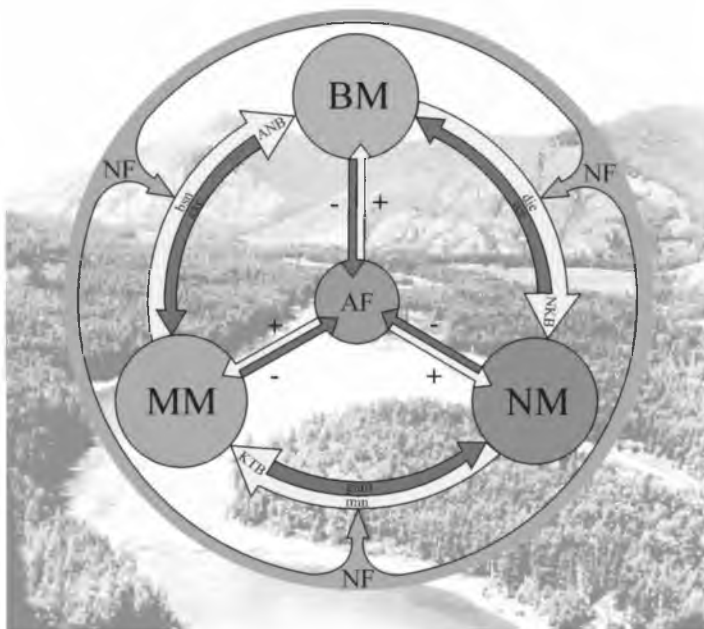


Рис. 1. Концептуальная модель экосистемы (по [17])

трофам синтезировать максимально возможное количество органического вещества в данных условиях, а гетеротрофам более бережно сохранять его в системе. Почва же является тем механизмом, который накапливает, разлагает и дозирует органику так, чтобы экосистема (биогеоценоз) могла существовать почти автономно, т. е. за счет собственных ресурсов.

Цикличность круговорота вещества между фитоценозом и педоценозом обеспечивает устойчивость экосистемы как относительно автономного образования. Стабильность структуры сообщества обеспечивается при оптимальном режиме функционирования экосистемы в оптимальном же диапазоне колебаний факторов среды. Тип растительного сообщества (автотрофный компонент экосистемы) складывался в результате длительной эволюции «подогнанных к совместному существованию» видов, максимально полезно преобразующих солнечную энергию в энергию химических связей органического (живого) вещества при данных условиях местообитания. Отмершее органическое вещество – опад, его количество, скорость и полнота преобразования микробной биотой определяют формирование почвенного профиля, складывающегося в той или иной экосистеме. Ежегодные колебания факторов среды определяют незначительные колебания параметров экосистемы (флуктуации) в рамках «нормы». Значительные по амплитуде колебания условий ведут к довольно глубоким, но обратимым изменениям – метаморфозам. Крупные, катастрофические, изменения условий или длительное воздействие внешних факторов приводят в конечном итоге к необратимым изменениям в структуре и функционировании экосистем, их эволюции или деградации.

Степь, которую у нас часто ассоциируют с пустошью, на самом деле – богатая, производительная, устойчивая (по обороту органики) экосистема, растительный компонент которой сложен преимущественно травянистыми и полукустарничковыми формами. Биоразнообразие в степи отличается высочайшей концентрацией видов. В умеренных широтах только в степных сообществах насчитывается более 100 видов на 100 м², выше оно – только в тропических и субтропических лесах.



Основной запас органического вещества степной экосистемы сосредоточен не в надземной массе, как это имеет место в лесах, а в подземной массе (в корнях растений и в сложных гумусовых соединениях почвы). Часть органики (продуцируемого вещества) ежегодно переходит в опад и под действием микроорганизмов разлагается. Но продукция степи слишком велика для полного разложения в течение одного вегетационного сезона. Поэтому полуразложившаяся органика образует новые полимерные вещества – гумус. Вот почему степные почвы так плодородны, представлены мощными черноземами и каштановыми почвами.

Ступенчатая трансформация органики является связующим звеном между почвой и фитоценозом, сложной системой дозирования минеральных элементов для синтеза первичной продукции фитоценозом [18]. Мы разработали модель трансформации органического вещества в экосистеме (рис. 2). Ежегодная продукция экосистемы (количество синтезируемого автотрофами органического вещества за год – P_1, P_2, P_3) зависит от климатических факторов, в первую очередь тепла и влаги (T, W).

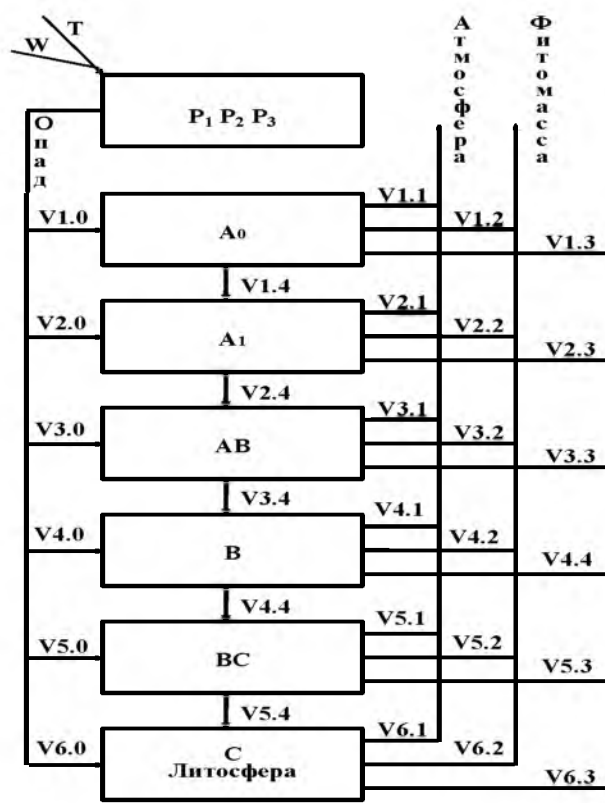


Рис. 2. Модель трансформации органического вещества в экосистеме

С момента отмирания органическое вещество (ежегодная продукция) переходит в опад и попадает в сферу действия почвенной биоты. В генетических горизонтах почвенного профиля сверху вниз происходит последовательная смена стадий деструкции органического вещества, каждая из которых характеризуется определенным количеством и качеством органики в почвенных горизонтах (A_0, A_1, AB, B, BC, C). Этот переход определяется соответствующими скоростями (V_{ij}), означающими, какой процент от содержащегося в данном горизонте количества вещества переходит по данному каналу за определенный промежуток времени. Модель имеет балансовый характер и реализуется при известных массах вещества в сложившихся горизонтах почвенного профиля (M_{ij}), и коэффициентах скорости выноса вещества в атмосферу V_{i1} (величина дыхания почвы по CO_2), гидросферу V_{i3} (минерализация почвенного раствора или модуль химического стока) и поступления элементов в фитомассу V_{i2} (зольность прироста). Эти параметры доступны для измерения.

Модель позволяет получить характерные времена обновления органического вещества в каждом горизонте и характерное время обновления полного профиля почвы в любом типе экосистемы. С ее помощью можно количественно сравнивать различные типы экосистем, развивающихся в динамическом равновесии с условиями внешней среды. Модель была идентифицирована по данным разных типов экосистем. Оказалось, что почвенные горизонты дерново-подзолистой почвы (экосистема хвойного леса) содержат обновляемое органическое вещество массой 133 т/га и могут полностью обновиться за период времени порядка 80 лет. Горизонты серой лесной почвы (экосистема широколиственного леса) содержат около 250 т/га органики и обновляются за период около 180–200 лет. А вот почвенный профиль типичного чернозема, содержащий органическое вещество в 825 т/га, при среднем ежегодном опаде в 11–12 т/га/год, может полностью обновиться (или восстановиться) за период не менее 350–500 лет (рис. 3).

Таким образом, экосистемы отличаются одна от другой запасами органического вещества, которое находится в постоянном обновлении. Приуроченные к различным климатическим зонам, экосистемы с разной скоростью обновляют органическое вещество. Каждая экосистема, соответственно, будет отличаться и характерным временем его обновления. Так экосистема тропического леса имеет очень значительную характерную массу, но малое время ее обновления, поэтому почвы под тропическим лесом очень бедны. А экосистема степи имеет зна-

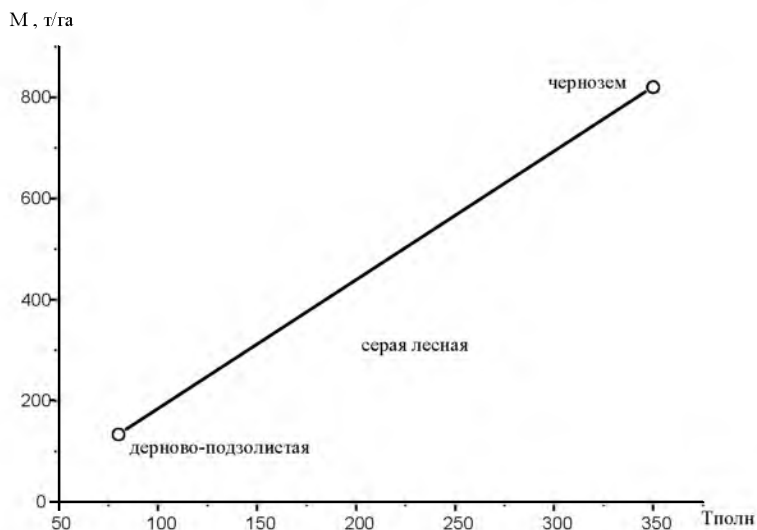


Рис. 3. Двухмерная шкала характеристики экосистем: М – суммарная масса органического вещества в экосистеме, Т – полное время обновления органического вещества в экосистеме

дов флоры которой произрастает только здесь. А почвы кальцефитных степей (остаточно-карбонатные черноземы на меловых отложениях) включены в Красную книгу почв. Посадка же лесной плантации в степи приведет не просто к количественному и качественному изменению опада, но к принципиальной смене фитоценоза. За этим должно последовать изменение всей структурно-функциональной организации экосистемы, включая почву.

Заметим, что подобные попытки – использовать элемент одной экосистемы для «улучшения» другой – уже известны в истории. Германия во время второй мировой войны железно-дорожными составами вывозила украинский чернозем в надежде сделать более плодородными свои земли. Но в условиях иной экосистемы чернозем быстро деградировал, превратившись в конечном итоге в серую лесную почву. Ведь почва – живой компонент экосистемы. И, начиная преобразования в одном функциональном блоке, мы должны задуматься о возможном изменении в другом. Конечно, степная зона содержит участки, пригодные для произрастания лесной растительности – это балки, понижения, поймы рек; в лесостепной зоне – высокие берега рек (нагорные дубравы). Небольшие лесозащитные полосы также уместны на нередких в степной зоне полностью распаханных территориях. Однако коренной тип растительности степей, растительность открытых пространств степной зоны – это травянистые сообщества с доминированием злаков. Об этом нужно помнить при организации масштабных работ в степи.

Заключение

Подчеркнем главную мысль – посадка значительных участков леса в степной зоне приведет, в конечном итоге, к изменению типа экосистемы. Под лесом, если он вообще приживется, через несколько десятков лет начнет меняться почва, преобразуясь из черноземов в серую лесную, гораздо менее плодородную, менее богатую гумусом и доступными микроэлементами. А для восстановления плодородных черноземов потребуются уже не десятки, а сотни лет. Поэтому, с точки зрения рациональности землепользования, необходимо исключить посадки леса на месте степей и сосредоточиться на восстановлении именно сведенных лесов. Проще изменить критерии в рамках Киотского процесса, чем потом пытаться восстановить полноценную степную экосистему.

В этой связи целесообразно было бы усиление влияния заповедников на решения администраций примыкающих территорий. Определенные надежды на возрастание роли биосферных заповедников в природоохранном регулировании регионов дает Севильская стратегия биосферных резерватов (1995) и Мадридский план действий по биосферным резерватам (2007). Принятые на Международных конгрессах по охране природы, эти документы дополняют Концепцию устойчивого развития (Рио-де-Жанейро, 1992) и нацелены на устранение противоречий между конфликтующими целями развития – сохранением биологического разнообразия и социально-экономическим ростом регионов. После принятия Севильской стратегии изменился основной вектор деятельности биосферных заповедников – от решения преимущественно природоохранных задач к координации и интеграции политики природопользования вмещающих регионов. Таким образом, биосферные резерваты должны стать регулирующим ядром территории и получить право и

читательную характерную массу и длительное время ее обновления, поэтому в степных почвах много гумуса – плодородного слоя.

Любое изменение условий среды вызывает изменение скорости разложения органического вещества (вследствие изменения активности почвенной биоты). Затем происходит изменение количества и состава органического вещества в горизонтах почвы и изменение всего почвенного профиля. Нетрудно заметить, что при значительных нарушениях в экосистеме наибольшее время для восстановления полного почвенного профиля нужно экосистеме степи.

Говоря о меловых обнажениях Белгородской области, напомним, что это уникальная экосистема, более половины ви-



возможность влиять на социально-экономическую политику муниципальных образований, входящих в охранную зону вокруг заповедного ядра. Наше правительство одобрило эти документы. Логично добиваться реального участия биосферных заповедников в управлении природоохранными мероприятиями, чтобы в пределах охранных зон и биосферных полигонов ни одно такое мероприятие не проводилось без их ведома. В свою очередь, биосферные заповедники должны поддерживать тесный контакт с академическими институтами и вузами страны.

Список литературы

1. Стратегия сохранения степей России: позиция неправительственных организаций. – М.: Изд-во Центра охраны дикой природы, 2006. – 36 с.
2. Смелянский И. Киотский процесс угрожает степям России // Степной бюллетень. – 2009. – №26. – С. 36–37.
3. Смелянский И. Белгородская область: сплошное облесение. // Степной Бюллетень – 2011. – №33. – С. 23–26.
4. Вернадский В.И. Биосфера и ноосфера. – М.: Наука, 1989. – 260 с.
5. Ковда В.А. Биосфера, почвы и их использование. М.: Наука, 1974. – 125 с.
6. Раменский Л.Г. Проблемы и методы изучения растительного покрова // Избранные работы. – Л., Наука, 1971. – 334 с.
7. Сукачев В.Н. Основные понятия лесной биогеоценологии. // Основы лесной биогеоценологии. – М., 1964. – С. 5–49.
8. Tansley A.G. The use and abuse of vegetational concepts and terms. // Ecology. – 1935. – V. 16. – №2. – P. 16–33.
9. Одум Ю. Основы экологии. – М.: Мир, 1975. – 742 с.
10. Тимофеев-Рессовский Н.В. О соотношении понятий экосистема и биогеоценоз // Природа. – 1970. – №7. – С. 33.
11. Сукачев В.Н. Биогеоценология и ее современные задачи // Журн. общ. биол. – 1967. – Т. 28. – №5. – С. 501–509.
12. Дылис Н.В. Основы биогеоценологии – М.: Изд-во МГУ, 1978. – 172 с.
13. Мазинг В.В. Системы биогеоценологического уровня и их усложнение в эволюции. // Развитие концепции структурных уровней в биологии. – М., 1972. – С. 349–356.
14. Заварзин Г.А. Биоразнообразие и устойчивость микробного сообщества // Журнал общей биологии. – 1992. – Т. 53. – №3. – С. 302–318.
15. Шмальгаузен И.И. Организм как целое в индивидуальном и историческом развитии. Избранные труды. – М.: Наука, 1982. – С. 384.
16. Экосистемная стратегия жизни / В.В. Бутровский, Н.Н. Зеленская, А.С. Керженцев и др. – Пушкино: ОНТИ НЦБИ РАН, 1992. – 15 с.
17. Керженцев А.С. Бесконфликтный переход биосферы в ноосферу – разумный выход из экологического кризиса // Вестник РАН. – 2008. – Т. 78. – №6. – С. 1–8.
18. Модель трансформации органического вещества в почве для количественного изучения функций почвы в экосистеме / В.А. Ковда, В.В. Бутровский, А.С. Керженцев, Н.Н. Зеленская // Доклады АН СССР. – 1990. – 312 (3). – С. 759–762.

STRUCTURAL AND FUNCTIONAL UNITY OF VEGETATION AND SOIL IS A MECHANISM OF ECOSYSTEMS FUNCTIONING (IN CONNECTION WITH THE PLANTING OF KYOTO FORESTS IN STEPPE ZONE)

**N.N. Zelenskaya,
A.S. Kerzhentsev**

*Institute of Basic Biological Problems,
RAS, 2, Institutskaya St., Pushchino,
Moscow Reg., 142290, Russia*

E-mail: zelen_1@rambler.ru

The structural and functional unity of vegetation and soil in an ecosystem is based on a metabolism (cyclic change of two processes: synthesis of life organic substance by autotrophic vegetables and destruction of dead organic substance by heterotrophic organisms). The aim of the ecosystem is a production of a live organic matter, at maximal volume according to local climatic factors. Change of any of structural components in an ecosystem will break all mechanism of ecosystem functioning and will create a new structure.

Keywords: natural ecosystems, the structure-functional organization, unity «soil – plant».