

УДК 631.879.42: 574.4

UDC 631.879.42: 574.4

**РОЛЬ СЛОЖНОГО КОМПОСТА
В БИОЛОГИЧЕСКОМ КРУГОВОРОТЕ
ЭЛЕМЕНТОВ И ВЕЩЕСТВ И
УСТОЙЧИВОСТИ АГРОЛАНДШАФТОВ**

**THE ROLE OF COMPLEX COMPOST
IN THE BIOLOGICAL CYCLE OF ELEMENTS
AND SUBSTANCES AND SUSTAINABILITY
OF AGRICULTURAL LANDSCAPES**

Белюченко Иван Степанович
д.б.н., профессор
ФГБОУ «Кубанский государственный
аграрный университет», Краснодар, Россия

Belyuchenko Ivan Stepanovich
Dr.Sci.Biol., professor
Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia

Сложный компост, включающий органические и минеральные компоненты, оказывает серьезное влияние на физические, химические и биологические свойства верхнего слоя почвы, существенно изменяет круговороты его веществ и элементов; с карбона и до наших дней установилось превосходство восстановительных процессов в ландшафтах, по сравнению с процессами окисления; через внесение сложных компостов на стабилизирующие факторы ландшафтов повышается их устойчивость

Complicated compost with organic and mineral components, has a serious impact on the physical, chemical and biological properties of topsoil significantly modifies its cycles of elements and substances; with the Carboniferous and up to now it has been established the supremacy of the recovery processes in landscapes as compared to oxidation processes through the introduction of complicated compost in their stabilizing factors

Ключевые слова: СЛОЖНЫЙ КОМПОСТ, ВЕРХНИЙ СЛОЙ ПОЧВЫ, КРУГОВОРОТЫ ВЕЩЕСТВ, ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ, ОКИСЛИТЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ, СТАБИЛИЗИРУЮЩИЕ ФАКТОРЫ

Keywords: COMPLICATED COMPOST, TOPSOIL, CYCLING OF MATTER, RESTORATIVE PROCESS OF OXIDATIVE PROCESSES, STABILIZING FACTOR

Введение. В развитии агроландшафтных систем и их функционировании весьма важная роль принадлежит устойчивости почвы. Сложные компосты при хорошей подготовке (объем компоста 65–70 т/га) органоминеральной смеси вносятся каждые 5–6 лет с содержанием органического вещества не менее 20 %, органических коллоидов до 25 %, минеральных коллоидов 6–10 % с запасами кальция – до 15–20 %, серы – 10–12 %, фосфора – 3–4 %, органического азота до 10–12 %, при общей растворимости компоста до 5 % и внесении его в почву повышается плодородие и, в первую очередь, глинисто-гумусовый комплекс, что поддерживает его структуру, состав, увлажнение, биологическое разнообразие, динамические связи во времени и пространстве со всеми участниками ландшафтной системы. Если в верхнем слое почвы содержание гумуса составляет 3,5 %, а в сложном компосте – 20 %, то увеличение гумуса в верхнем слое почвы составит $3,5 - 0,2$ ($3,5 \times 10000 \times 0,2 / 100 = 70$ %) и в сложном компосте $20 \times 50 / 100 = 10$ %. При внесении в почву сложного компоста гумуса содер-

жится $70+10=80$ %. Общее содержание органического вещества составит $80/20=4$ %. В целом содержание гумуса в верхнем слое почвы составило 4 %, что содействует физической устойчивости почвы и тех систем, которые на ней базируются, включая и животный мир. На удобренных компостом почвах повышается продуктивность растений, улучшаются их ростовые свойства, развитие их корневых систем, увеличиваются популяции беспозвоночных и микроорганизмов, запасы фитомассы, баланс органического вещества, усиливается биологический круговорот веществ. Сложные компосты улучшают функционирование почвы как биокосной системы. Правильно подготовленный и во время внесенный в почву сложный компост способствует развитию агросистемы и усилению её устойчивости [1, 2, 3].

Основу механизма функционирования биосферы и её устойчивости, по В.И. Вернадскому (1987), составляет биологический круговорот веществ [23]. Именно в круговороте веществ определяется относительное равновесие в пределах отдельных систем биосферы. По В.И. Вернадскому, между косными природными частями и живыми организмами в биосфере осуществляется непрерывный материальный и энергетический обмен в движении атомов, пронизывающий всю ионосферу, постоянно изменяющийся и стремящийся к устойчивому равновесию. В процессе развития Земли чисто абиотический круговорот веществ совершенствовался и постепенно перешел к биотическому, составляя сегодня основу современного биологического круговорота веществ в биосфере [25].

В последние 500–600 млн лет в развитии биосферы изменилось соотношение элементов её отдельных веществ, охваченных живыми организмами, длительность их круговорота в связи с появлением и захватом основного пространства покрытосеменными растениями и млекопитающими животными. Усилилась роль гетеротрофов в разрушении мертвого органического вещества. Более четко разделились живые организмы по

типам питания, открытые в XIX веке; они составляют одну из основ современной теоретической экологии [24].

Поведение элементов в природе, их круговороты, цикличность и другие формы перемещения по биотическим системам является одной из важнейших в экологии, а их изучение, определяемое накоплением фактического материала на примере функционирования конкретных экосистем, важно с точки зрения познания функциональных процессов, происходящих в биосфере в целом и в отдельных её частях. Характер вещественного обмена в экосистемах, определяющий основу круговорота их элементов, обуславливает состояние, активность, устойчивость, динамичность этих систем, их продуктивность, энергоёмкость и другие функциональные особенности.

Выделение автотрофов разделило среду обитания на окислительную и восстановительную, расширило формы распространения элементов, а обособление автотрофов и гетеротрофов предопределило замкнутость циклов круговорота отдельных элементов и веществ, предопределивших ряд существующих изменений в биосфере Земли. Прежде всего, это касается выделения из круговорота значительных масс углерода, обусловившего формирование различных оболочек Земли, что и определило биогеохимический круговорот элементов [23].

Отмечена тенденция нарастания абиотических веществ – количества оксидных форм железа, содержание калия и кальция, а биотические организмы определились в увеличении разнообразия на суше, в воде и воздухе, что существенно продвинуло развитие почв, одной из уникальных оболочек Земли, значительно усилившей биологический круговорот элементов и совершенствовавший его механизм. Почва определяет условия для направленности варьирования изменений биофильных элементов. Изучение круговорота любого элемента земной коры является весьма важной задачей почвоведения и современной практической и теоретической экологии.

Параметры круговоротов означают циркуляцию органического вещества, элементов и энергии в естественных и искусственных экосистемах. Поступление элементов из атмосферы и почвы в живые организмы, в биохимический синтез и закрепление химических элементов в органическом веществе растений и животных; возвращение их в почву, атмосферу и воду с ежегодным опадом части органического вещества или отмершими организмами, входящими в состав биосистем. Между живым веществом и косной материей лежит «биогеогенный ток» В.И. Вернадского. В процессе развития системы между её составляющими формируются новые связи, образуются новые отношения, формируется детрит, образуется подстилка, гумус, образуются сложные компосты, объединяющие минеральные и органические соединения [23, 24].

Биогеохимический круговорот, биогеохимические циклы, биогеохимические миграции – синонимы биологического круговорота. Биогеохимические круговороты делятся по Ю. Одуму на два: 1) круговорот газообразных веществ – образует резервные фонды в атмосфере и гидросфере и 2) осадочный цикл в форме резервного фонда в земной коре. Живые организмы продлевают продолжительность трофических цепей. Образование детрита показывает, что живые организмы не только поглощают элементы из почвы, но и из минерализованных организмов, доля которых достаточно велика.

Элементы в системе могут трансформироваться из одной формы в другую, что заметно удлиняет его период перемещения в системе. Некоторые авторы выделяют биологический, геологический, и даже биогеогенный круговороты. Биологический круговорот сохраняется на уровне живых организмов, а биогеогенный составляет совокупность процессов в экосистеме и этот подход подробнее объясняет круговорот в системе следующим образом – живые организмы – биогеоценоз – геохимический ландшафт [9, 24].

Современное представление о биологическом круговороте дается понятиями ряда концепций: 1) биосферная; 2) концепция экосистемы, её структурно функциональная организация наземных систем, в основе которой находится единство превращения вещества и энергии; 3) концепция геологической роли живых организмов, представляющая их незаменимость в химическом становлении современных оболочек Земли: большое значение живых организмов в осадконакоплении надземных и водных систем; 4) концепция расширенного системного подхода, включающая методологию выделения экосистемы, как единицы исследования и установление внутренних и внешних связей; идеи системного подхода весьма важны при изучении биологического круговорота основных элементов отдельных ландшафтов [4, 8, 9, 11].

Направление круговоротов веществ. Функционирование экосистем оценивается по трем показателям: 1) первичная продукция, 2) доля первичной продукции от общих запасов фитомассы, 3) отношение мертвой органической массы к первичной продукции [6, 7]. Закономерности структуры экосистем и их функционирование являются: 1) изменение годичной продукции описывается двухвершинной кривой, 2) скорость оборота экосистемы связано с тепловым балансом.

Продуктивность является основой классификации ландшафтов. Азотный тип круговорота преобладает в наземных системах суши, за ним следует кремнивый и кальциевый. Азотные типы круговорота преимущественно тяготеют к северным широтам, а в умеренном поясе – к степным экосистемам. В материковых водах преобладает ионный состав – ионы карбонатов кальция [5].

Весьма сложной оказалась связь между типом круговорота и почвенным покровом. Чем выше распространенность кремниевых типов круговорота, тем чаще состав материковых вод обусловлен спецификой элементов, находящихся в биомассе растений. С кальцием более сложная

картина. Кальций менее распространен в литосфере по сравнению с кремнием: массовая доля кремния составляет 27,75 %, а доля кальция – всего лишь 3,3 %. Кальций хорошо мигрирует в кислых, слабонатриевых и щелочных почвах. Но этот элемент легко осаждается в почвах, образуя различные соединения. Он считается высоко биофильным элементом и активно удерживается в составе живого вещества, что, очевидно, определяет слабую связь между долей участия кальция в круговороте и в составе материковых вод. Везде выносятся те элементы, которые не удерживаются ни в биомассе растений, ни в почвенном профиле. Нарушения почвенных процессов изменяют круговороты, что следует между важнейшими элементами в природных водах [10, 12].

Почва является многокомпонентной системой и служит центром биологического круговорота веществ и обеспечивает протекание его различных механизмов: механизмы выветривания и удержания биофильных элементов, обусловливаемых глиняными минералами. В почве создаются и удерживаются новые биогенные природные тела, возобновляемые – подстилкой и гумусом, чью роль трудно переоценить. Функционирование почвы не только дополнительный фактор, обеспечивающий цикличность круговорота, но часто и ведущий на разных уровнях организации биосферы.

Недалекое будущее (максимум 50–60 лет) покажет – выдержит ли подвижное равновесие природного комплекса (экосистем), сложившееся за геологическое время, производство человека, образовавшееся за короткий исторический период. Все эти особенности сегодняшней ситуации нельзя исключать при изучении круговорота веществ в природных, аэроландшафтных и иных системах. Идеи о принципах геологического и биологического круговоротов веществ были заложены еще В.И.Вернадским (1965) и В.Р.Вильямсом (1953) и т.д. Разработкой этих проблем занимались многие исследователи, и она стала актуальнейшей в системе наук о Земле [4].

Любая экосистема является важным консервантом биогенов, с одной стороны, и регулятором (усиливающим или ослабляющим) непрерывного круговорота биогенных элементов и воды, с другой. Живые организмы (растения и животные) свою потребность в биогенах удовлетворяют за счет наличия их запасов в почве и поверхностных водах (очень незначительная часть поступает через воздух). Для любого химического элемента и вещества (или соединения) в системе (малой или большой) свойственен свой путь (круговорот). Двигателем всех круговоротов на нашей планете является поступающая от Солнца энергия, обуславливающая движение всего живого (рост, размножение, перемещение, вымирание и т.д.).

В процессе круговорота биогены проходят ряд сложных преобразований в результате биохимических реакций в органической и неорганической формах. В экосистемах при их естественном функционировании (в основном без резкого вмешательства человека) отток биогенов выравнивается притоком их из подстилающей породы, атмосферы и из других систем (большой круговорот). Тем не менее, потери и поступления элементов в экосистему ничтожно малы по сравнению с той частью биогенов, которые совершают круговорот (малый) в самой системе [14, 15].

Можно столкнуться с нарушением равновесного хода круговорота биогенов, и в этом случае возможно накопление отдельных из них в самой системе, хотя чаще наблюдаются их потери для системы. Не очень продуманное использование почвы (например, вырубка лесов, распашка склонов и т.д.) ведет к усилению ветровой и водной эрозии с потерей многих биогенов для системы через их выветривание или вымывание за относительно короткий срок – за 3–5 – максимум 10 лет (а ведь их накопление в почве шло сотни миллионов лет). В качестве примера с накоплением в системе биогенов можно привести концентрацию мертвого органического материала на дне озер, прибрежных болот, морей, когда микроорганизмы в анаэ-

робных условиях не могли минерализовать этот материал, который в те далекие годы затем преобразовался в уголь, нефть, торф, газ [17, 18].

В настоящей главе прослеживаются основные пути прохождения важнейших элементов через экологическую систему. Специфичность круговорота отдельных биогенов определяется их потребностью растениями (а некоторыми и животными) и, безусловно, их химическими свойствами. Круговороты биогенов имеют общую картину перемещения между органическими и неорганическими фондами при сбалансировании распада и ассимиляции. Круговороты всех элементов обусловлены формированием первичной продукции и энергетическими потоками через всю систему. Скорость прохождения отдельных элементов по основным узлам круговорота зависит от количества и интенсивности и разумности их потребления. В случае задержки какого-то элемента на отдельном этапе круговорота происходит его накопление в одном узле. Нарушение прохождения любого звена круговорота довлеет на его другие звенья. Естественно, круговороты веществ в значительной степени определяют стабильность экосистемы. Сущность круговорота любого элемента в природе заключается в его обмене между неорганической и биологической частями системы. В природных системах такой обмен практически сбалансирован [19].

Круговороты всех элементов координируются определенными процессами, обусловленными деятельностью живых организмов. Например, пределы фотосинтеза и дыхания определяется круговоротами кислорода и углерода. Реакции микроорганизмов являются основополагающими в круговороте азота, фосфора, серы и других элементов. Условно экосистему можно представлять в виде блоков, которые выделяются определенной спецификой (прежде всего функциональной) в формировании круговорота отдельных элементов и всего их комплекса в целом. В круговороте минеральных элементов основная нагрузка в экосистеме распределяется между живыми организмами и их отмиранием и неорганической частью почвы.

Собственно в этом пространстве совершается малый круговорот биогенов. Для большого круговорота добавляются еще косвенно доступные биогены в осаждающихся органических веществах и биогенах в морях и океанах.

Автотрофы по аналогии с гетеротрофами вовлекают биогены в органические структуры растений в процессе создания ими первичной продукции. Гетеротрофы, используя автотрофы в качестве источника пищи, основную часть биогенов получают уже в органической форме, хотя некоторая их доля поступает с питьевой водой (например, калий, кальций, натрий и некоторые другие). Биогены встречаются в различных формах в почве, воде, воздухе и в живых организмах. Так, углерод содержится в воздухе в форме окислов (CO , CO_2) и различных углеводородных соединений; в воде он встречается в форме угольной кислоты, а в почве – в форме угольной кислоты и её солей. Кислород содержится в воздухе в газообразной форме (O_2 и CO_2), а в воде – в растворенной в молекуле воды, в почве распространен в форме окисей и солей [21, 22].

Считается, что самый большой объем кислорода (около 90 %) концентрируется в угольной кислоте кальция (CaCO_3) осадочных пород, но который мало доступен живым организмам. Менее разнообразны формы существования азота: в атмосфере газообразные формы (N_2), а в почве – в форме аммиачных соединений и нитратов. Растения вовлекают азот в круговороты в основном в форме нитратов (NO_3^-), содержащихся в почве или воде. Газообразный азот атмосферы в круговорот вовлекается двумя формами микроорганизмов – фиксирующими симбионтами и свободноживущими, но его доля в общем балансе ниже почвенного.

Часть биогенов не проходит полный цикл круговорота, а возвращается в банк питательных веществ в неорганической форме. Прежде всего, это касается кислорода и углерода, выделяющихся в процессе дыхания живых организмов, а также кальция, натрия, калия, марганца, магния и других элементов, вымываемых дождем и с питьевой водой попадающих в ор-

ганизм или поглощаются растениями вновь и вступают в круговорот. Значительная часть биогенов (особенно азот и углерод) с отмиранием организмов быстро под влиянием детритоядных организмов переходит в детритный блок. Некоторая часть биогенов в минеральной форме поступает в круговорот из атмосферы, а также в результате эрозийных процессов в известняках, горных породах, каменном угле и т.д. [7]

Основу круговорота биогенов в биосфере составляют процессы ассимиляции и распада веществ, сопровождаемые поглощением и выделением энергии. Считается, что параллельно перемещению большинства биогенов проходит основной путь энергии через всю систему, хотя наиболее четко это прослеживается на углероде, входящим составной частью в энергетический комплекс. Углерод освобождается в виде углекислоты при многих процессах, сопряженных с выделением энергии. Азот, фосфор, сера и некоторые другие биогены удерживаются в организме в силу их активной роли при синтезе различных органических соединений (например, белков, ферментов и т.д.), формирующих основные тканевые структуры, и потому скорость их прохождения по трофическим уровням заметно задерживается по сравнению с энергетическим потоком [5].

На прохождение отдельных элементов по трофическим цепям могут влиять и другие процессы. Например, решающее влияние на круговороты кислорода и водорода оказывает круговорот воды. За жизненный период любого организма, содержащаяся в нем вода заменяется много раз (через постоянное потребление, испарение и выделение). Круговорот воды характеризуется примерно теми же особенностями, что и других веществ и элементов, но основным её "двигателем" является энергия солнца.

Биотические и абиотические аспекты круговорота веществ. Минерализация органического вещества и круговорот биогенов координируются биогенными процессами в природе. Роль абиогенных факторов менее выражена. Однако деятельность человека заметно усиливает абиогенный

вариант минерализации органического вещества и круговорота биогенов через внесение больших доз минеральных удобрений, усиление кислотных дождей и т.д. Соотношение биотических и абиотических факторов, определяющих круговорот биогенов в экосистемах, имеет большое значение для понимания механизмов устойчивости систем, на уровне которых и происходит основной биологический круговорот биогенов (микроорганизмы и растения вовлекают элементы в круговорот, которые затем мигрируют по пищевым цепям и снова освобождаются в результате разложения трупов и возвращаются в почву и поверхностные воды).

Определенное влияние на круговорот веществ оказывают и абиотические факторы как вымывание осадками химических веществ из живых растений, мертвого опада, приход азота и других веществ с осадками, пылью, поверхностными и грунтовыми водами, захватывая в основном круг растворимых и легкогидролизуемых форм, образующихся в результате деятельности живых организмов. По количеству биогенов абиотические источники биогенов в сумме обычно не превышают 10 % от общего их потребления живыми организмами экосистемы, но они оказывают существенное активизирующее влияние на биотические процессы [13, 16].

Абиотические факторы играют существенную роль в большом круговороте биогенов, а именно – в их перемещении между системами (перенос элементов ветрами, поверхностными и грунтовыми водами), в их консервации (на морских и океанических глубинах), и их фиксации (перевод некоторых элементов полутвердыми окислами в недоступное для микроорганизмов состояние и т.д.). Живые организмы какую-то часть перемещаемого материала успевают использовать и в этом случае они сильно зависят от действий климатических условий.

Абиотические факторы снижают массу растений через вымывание дождями растворимых соединений, распада в процессе гидролиза сложных соединений с последующим их вымыванием. Из отмерших тканей легко

вымываются свободные аминокислоты и органические кислоты и их соли, моно- и олигосахариды, некоторые белки, крахмал, пектины. Листья отдельных растений теряют при промывке водой до 25 % веществ. В летнее время доля прямого вымывания из растений незначительна в силу высокой связываемости всех соединений растущими структурами и активного поддержания ими стабильного равновесия среды, благодаря высокой белковости состава [20].

Таким образом, основным звеном круговорота в экосистеме является обратный переход биогенов из мертвых остатков в почву под действием разлагающей микрофлоры и микрофауны. Иными словами, в основе малого круговорота лежит биотический процесс превращения биогенов из органического состояния в неорганическое (микрофлора) и обратно в органический (высшие растения). Абиотический довесок в круговороте веществ расширяет это пространство на другие системы и координирует большой цикл этого процесса, объединяя все или многие системы биосферы.

В ландшафтных системах (природных и, особенно, в агроландшафтных) концентрируется напряженность во всех их структурах, как следствие развития производственных сил, связанных с воздействием человека на природные системы (содержание органических веществ, водное и воздушное обеспечение, минеральный состав почв, pH почвенной среды и т.д.), усиливающих нарушение устойчивости в них. Нарушение равновесия в почвенной системе является изменением в соотношении природных и распаханых угодий, сокращение площадей лесов, устойчивых речных равнин и пойм, речных систем, снижение распаханых угодий, сокращение площадей лесов, устойчивых речных равнин и пойм, речных систем, снижение птиц, млекопитающих и других животных, освоение человеком новых площадей, расширение природной среды, теряющие определенные природные свойства и гармоничность природы и её составляющих [6].

В проблеме оптимизации отношения человека и природы важной задачей является определение механизмов равновесия и их нарушение в ходе естественного равновесия в разумных пределах этих нарушений. Большую группу в оценке происходящих изменений составляют физические равновесия, обеспечивающие относительную стабильность (устойчивость форм рельефа, стратификации воды и воздуха, скопление воды в определенных понижениях, сезонность температуры и т.д.); однако не сокращается действие эндогенных и экзогенных сил, нарушающих это равновесие. Определенные нарушения механических равновесий связаны с распашкой земель, гидростроительством и т.д. Снижение таких нарушений к минимуму – важная задача сегодня. Влияние антропогенных нарушений возрастает, хотя пока этот процесс вполне управляем, но пределов научного обоснования действием человека пока определить трудно [8].

Большое значение имеют химические равновесия в природных водах, составляющих газосолевые растворы (растворимость веществ в них постоянна при постоянном давлении и температуре), изменения среды вызывают большие колебания концентрации этих веществ. На окружающую среду стабилизирующее влияние оказывают крупные водные системы (моря, океаны), поддерживающие концентрацию своей среды постоянной со времени палеозоя (Вернадский, 1994), оказывая регулирующее влияние на всю планету. Тропосфера, океан, подводная атмосфера (газы, насыщающие толщу воды) находятся в динамичном планетарном равновесии, поддерживаемые такими процессами, как выпадение в осадок избытка солей и органических веществ (процесс седиментации). Однако выделение физических и химических равновесий в стабильности окружающей среды смысла не имеет [23].

Элементы стабильности и устойчивости в природе ландшафтов следует просматривать в процессах энергообмена и формирования первичной продукции, определяющих круговороты элементов и вещества в экосистемах. Эти процессы являются основным критерием упорядоченности

ландшафта. Мощным геологическим фактором является живое вещество биосферы, представляющее собой область земной коры, занятую трансформаторами, переводящими космические излучения в земную энергию – электрическую, химическую, тепловую. Поступающая свободная энергия активирует живое вещество, способное выполнять работу [20, 21].

Основа основ развития биосферы – это процесс фотосинтеза (Вернадский, 1967). По своей мощи и потенциалу процесс фотосинтеза является более современным аккумулятором и трансформатором свободной энергии по сравнению с круговоротом воды, что и определяет неравновесность всех живых систем и нарушающих равновесия через использование свободной энергии, накопленной живыми системами. Живое вещество через транспирацию заметно влияет также на такие стабилизирующие биосферу процессы как круговорот воды, круговорот биогенов и циклы катионов, хотя их основные элементы (испарение, сток, процессы циркуляции) незыблемы; эти процессы остаются внешними факторами (экологической средой) развития биосферы [25].

Создание сложных компостов, включающих в свой состав до 8-10 и больше видов различных отходов, способствует заметному изменению в основном почвенного покрова физическими, химическими и биологическими свойствами в самом широком плане, которые в конечном итоге вызывают заметные изменения физико-химических и биологических характеристик на 5–6 лет. Сложный компост улучшает физические, водно-воздушные свойства верхнего слоя почвы реально на 10–15 %, существенно обогащает почву органическими веществами, способствует их экономическому расходованию, улучшает азотный и фосфорный баланс, микроэлементный состав и другие качества верхнего слоя почвы. Кроме того, внесение фосфогипса в составе сложного компоста усиливает биологический круговорот элементов и веществ через заметное увеличение популя-

ций дождевых червей, энхитреид, кивсяков, а также различных родов микроорганизмов [14].

Процессы ассимиляции и диссимиляции составляют основу жизни и определяют характер обмена веществ; эти процессы равновесны лишь относительно, поскольку развитие и увеличение живого вещества базируется на лучистой энергии солнца и вовлечении в биологический круговорот биогенных веществ, что обуславливает постоянное накопление и нарастание массы продуктов жизнедеятельности организмов, которые выделяются в среду их обитания, включаемые в круговороты или пополняющие массу активных веществ (кислород и другие газы). Минерализация соединений углерода, выключение этого элемента из круговорота, а энергии из пищевых цепей, идет вместе с процессами ассимиляции. Кроме того накапливаются биогенные карбонатные и кремнистые осадочные слои, что указывает на формирование шлаков в ходе биологических процессов.

Адаптация к условиям внешней среды (количество и соотношение тепла и влаги, их динамика, химизм и другие свойства почвогрунтов и воды) является одним из важных механизмов, обеспечивающих устойчивость биосферы как системы. Создание современной атмосферы и почв следует отнести также к числу важнейших механизмов биологической устойчивости в ландшафтах [14].

Важными механизмами развития устойчивости ландшафтов является эволюционный процесс развития живого в системах, интенсивность которого определяется, во-первых, солнечной радиацией, во-вторых, биологическими факторами (конкуренция, отбор), и, в-третьих, изменениями внешней среды (химические, термические, трофические), ускоряющие или тормозящие этот процесс. Механизмы, обеспечивающие устойчивость и равновесие в ландшафтах, с одной стороны, весьма просты, а с другой, весьма сложные, и потому предсказать развитие отдельных экосистем, как и биосферы в целом весьма непросто, если просто невозможно [8].

Ландшафт – система с относительной устойчивостью и постоянно варьирующим равновесием противоположных сил – растительность и слишком выраженная неэкономичность её функционирования, что нередко ведет к обособлению тупиковых вариантов развития её отдельных звеньев. Проблема устойчивости биологических систем еще требует глубоких работ. Сложные по структуре системы являются более устойчивыми к внешним возмущениям. Максимально возможному разнообразию способствует такая структура сообщества, в которой все виды распределены с одинаковой частотой. Устойчивость определяется качественной структурой внутривидовых и межвидовых взаимодействий в сообществе и сохраняется при всех количественных значениях интенсивностей этих взаимодействий, оставляющих неизменными типы взаимодействия между каждой парой видов [18].

Проблема устойчивости биологических систем разрабатывается через различные меры их разнообразия и динамичности. Сложность их использования с целью прогнозирования и непригодности разработки определенных задач по конструированию их искусственных систем (посевов). В природе все взаимосвязано. Без превращения энергии и круговоротов элементов жизнь практически невозможна. Лучистая энергия Солнца, достигая поверхности Земли, помимо ассимилированной части растениями, превращается в тепло, нагревает воду океанов, рек, формирует облака, определяет круговорот воды и т.д. В процессе фотосинтеза лучистая энергия превращается в химическую. Животные организмы, поедая растения, превращают химическую энергию растительных тканей в другие формы химической энергии, а также в механическую, электрическую, тепловую, рассеиваемую в атмосфере.

Наличие энергии в системе может быть израсходовано на выполнение определенной работы (усиление или снижение транспирации, ускорение или сдерживание роста живых организмов и т.д.). Различия между жи-

выми системами и машинами состоят в том, что машины питаются внешним источником энергии, а живые системы трансформируют энергию солнца первоначально в энергию химических связей, идущую на возобновление, рост, поддержание внутренней и внешней структуры. В живых организмах идет постоянное превращение энергии в свободную энергию структуры и потому является необходимым условием сохранения жизнеспособности живых систем. Превращение энергии химических связей в структурную энергию различных компонентов экосистем и определяет формирование направляемых потоков энергии внутри организма, системы, биосферы [22].

Устойчивость системы – это её способность вернуться в исходное состояние после разового воздействия; чем быстрее возвращается, тем система устойчивее. Упругость системы – это её способность переходить из одного устойчивого состояния в другое под действием внешних условий при сохранении системой внутренних взаимосвязей. Устойчивость системы, это внутренняя способность системы выдерживать вызванные извне изменения или восстанавливать свое состояние после их затухания. Пример устойчивой системы – снижение продуктивности сообщества растений на 10 % и растительных на 5 % при уменьшении качества годовых осадков по сравнению со средними многолетними [21].

Потенциал внутренней устойчивости системы – её способность противостоять внешним изменениям окружающей среды. Способность системы вернуться к некоторому состоянию – является мерой её устойчивости. Мы очень мало знаем о механизмах устойчивости систем – какие механизмы участвуют в стабилизации систем, как эти системы функционируют, каким образом оценивать устойчивость системы. Механизмы устойчивости системы рассматриваются через её стабилизацию:

1) Устойчивость системы рассматривается как оптимальный вариант взаимоотношений между всеми видами, сложившимися в системе;

2) Устойчивость системы следует рассматривать как синтез всех основных свойств, проявляющихся на уровне организма, популяции, сообщества, системы в целом;

3) Понимание экологических и эволюционных изменений и взаимосвязей на всех уровнях организации системы поможет понять устойчивость системы как качественное выражение её длительного развития;

4) Единую теорию устойчивости системы еще очень трудно и сложно определить по ряду причин, одной из которых является та, что экология еще не настолько зрелая наука, чтобы могла собрать и объединить в одно целое важные разрозненные сведения, знания и концепции по этой проблеме.

5) Безусловно, не каждый эколог, непременно, обязан посвятить себя полностью или частично прояснению сущности устойчивости системы;

6) Устойчивость живых систем представляет собою экологический синтез составляющих их трофических уровней и сетей, а новые данные и новые идеи в данном направлении будут служить пониманию в первенстве этой коренной проблемы в экологии [19].

Живые организмы в биологическом круговороте. Показатели биологического круговорота заключаются в 1) продуктивности систем, 2) химическом составе живых организмов и их энергетических единицах. Продуктивность системы считается основным показателем её функционирования и направленности биологического круговорота. Основная часть солнечной энергии расходуется на её трансформацию и только до 1 % – на фотосинтез [24].

В случае нехватки тепла (до 50–52 ккал/см²) продуктивность системы снижается из-за его недостатка, а в случае превышения 50–52 ккал/см² продуктивность системы снижается из-за нехватки влаги. Химический состав, особенно, это касается макроэлементов, связан с происхождением систематических видов (злаки – одно, бобовые – другое, осоки – третье).

Химический состав видов по микроэлементам определяется геохимическими особенностями территории. Наиболее часто встречаются элементы в минералах, активнее участвующие в строении живого вещества. Велико значение таких элементов как кальций, кремний, магний, которые могут в определенных условиях накапливать растения.

Определение ценности видов растений по энергетическим данным весьма значительное и связано с уровнем плодородия, влажности, щелочности и кислотности почвы. Эти величины вполне сопоставимые и аккумулируются в гумусе почв. Сравнение запасов углерода в фитомассе и почве показывает, что в фитомассе он составляет 800×10^{18} г, а в гумусе – 1700×10^{18} . Тропические леса и тайга дают близкие величины $\approx 270 \times 10^{18}$ г углерода [4, 13].

Затраты энергии на эвопотранспирацию, чистая первичная продуктивность и годовое определение зольных элементов и азота находятся в корреляции между собой. Скорости разложения по некоторым данным связаны с запасами энергии в растительных остатках, что обусловлено соотношением жиров, белков, углеводов.

Минеральный состав различных групп растений суши составляет годичный оборот от 8000 до 1200 кг/га с преобладанием Si, Ca, K, S, P. Например, в травянистых сообществах среднее содержание минеральных веществ колеблется от 5–7 кг/га. При годичном обороте 800–1200 кг/га; преобладают Si, Ca, S, P. Химический состав биомассы (% на СВ) нижнего яруса разнотравья составляет N – 2,60; P – 0,13; S – 0,21; Si – 2,04; K – 1,70; Na – 0,14, а верхнего соответственно N – 2,25; P – 0,10; S – 0,31; Si – 1,74; K – 0,24; Na – 0,11 [25].

Изучение круговорота (и вообще движение) биогенов в экосистемах и биосфере в целом является одним из основных направлений развития современной экологии, относимое к фундаментальным механизмам функционирования отдельных сообществ живых организмов и всей биосферы. В

круговороте биогенов участвуют все организмы системы или ландшафта, начиная от микроорганизмов и кончая человеком. Почвенные животные, ассимилируя в свои ткани подвижные формы микроэлементов, оказывают реальное влияние на содержание отдельных элементов в эдафотопе [24].

Возникновение живых организмов из почвенного покрова связано с энтофильными элементами, склонными накапливаться в атмосфере все инертные газы, азот, водород (реже кислород), и литофильные, формирующие устойчивые соединения с кислородом и образующими земную кору материков и в океанах – кремния, алюминия, кальция, магния, натрия, калия, хлора, железа, серы, никеля и других. Из 105 химических элементов в организмах распространены обязательно 6 (C, N, H, O, P, S), отличающиеся малым атомным весом, легкостью отдачи и присоединения электронов. Важнейший элемент углерод (C) электронейтрален и его атомы способны соединяться в цепи и формировать бесконечное множество соединений. Остальные 5 элементов также способны образовывать общие электронные пары с атомами других элементов и друг с другом. Именно с образованием соединений этих элементов в различных комбинациях началась химическая эволюция Земли [24].

Живые организмы способны избирательно накапливать и концентрировать из рассеянного состояния отдельные химические элементы, что особенно сильно проявляется в океане. Например, в водных растениях кремния содержится в 1000 – 1000 000, фосфора – в 100000, марганца – в 1000–10000 раз больше, чем в морской воде. Живые организмы также накапливают железо, кадмий, никель, хром, цинк и другие металлы, которые после отмирания организмов в виде осадка концентрировались в отдельных анклавах, формируя залежи осадочного происхождения [18, 19].

В сравнении с составом земной коры растения обогащены такими биогенами, как азот, углерод, кислород, водород, а животные еще серой и фосфором. В составе животного вещества много водорода, кислорода, а за-

тем углерода, азота, калия, кальция, кремния, фосфора, серы, стронция, бария, цинка, молибдена, меди, никеля. Эти элементы и составляют основу биогенного круговорота веществ.

Биогенные элементы – химические элементы, входящие в состав организмов и необходимые им для жизни (их около 20), среди которых на долю кислорода приходится около 70 % от массы организма, углерода – 18%, водорода – 10 %, в сравнительно малом количестве содержатся N, Ca, K, P, Mg, S, Si, Na; за присутствие в клетках всех организмов перечисленные элементы называются универсальными; в виде следов в организме содержатся почти все химические элементы. К ним относятся минеральные соединения азота (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^-), фосфора (H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , PO_4^{3-}), кремния (HSiO_3^- , SiO_3^{2-}), железа (Fe^{2+} , Fe^{3+}) и соединения некоторых микроэлементов [21].

Постоянно соединяются в тканях животных и незаменимы в рационе – кислород, углерод, водород, азот, кальций, сера, калий, фосфор, кобальт, кремний, селен (11). Постоянно встречаются в живом организме, но их физиологическая роль слабо изучена: стронций, кадмий, бром, фтор, бор, хром, бериллий, никель, литий, цезий, олово, алюминий, барий, рубидий, титан, серебро, талий, германий, мышьяк, ртуть, свинец, висмут, сурьма, уран, торий, радий (26). Редко встречаются в тканях животных и их роль не установлена: скандий, талий, ниобий, индий, теллур, лантан, празеодим, неодим, самарий, европий, тербий, диспрозий, эрбий, иттербий, вольфрам, рений, золото (17).

Распространение химических элементов в литосфере и живом веществе подчиняется одному закону: состав организмов отражает химический состав окружающей среды, а количественное соединение химических элементов в живом веществе находится в обратной зависимости от их атомного веса. В живом веществе сконцентрировано элементов по максимуму, стоящих в четном (C, J, Si, Ca, Fe, стронций, барий) и нечетном ря-

дах (Н, N, Al, K, Mg, цезий, рубидий). Часто образуют пары элементы, стоящие в максимуме четного и нечетного рядов; эти пары взаимозависимы при поглощении организмами: кальций - калий, железо - марганец, рубидий - стронций, цезий - барий.

Общая биомасса суши составляет 3×10^{12} - 1×10^{13} г, из которых на долю микроорганизмов приходится 1×10^9 г. На зоомассу приходится 10^{10} г (до 3 % от фитомассы). Сырая биомасса позвоночных колеблется от 44 до 1292 кг/км²; на птиц приходится от 3 до 83 кг/км² и млекопитающих – от 32 до 1228 кг/км². Почвенные животные формируют массу в степи – 200, в лесостепи – 500, в смешанных лесах – до 1000, в широколиственных – до 1500 кг/га. Основная часть биомассы приходится на дождевых червей – до 90 % от почвенных животных [4, 11].

Животные способны создавать свое органическое вещество только из готовых органических молекул, составленных из C, O, H, и N и формирующих основные классы веществ – белки, жиры, углеводы, которые создают организм и поддерживают его жизнедеятельность. В организме животных обнаружено 60 элементов, из которых только для 30 установлена их физиологическая роль. Белки состоят из 20 аминокислот и этот набор одинаков от простейших до человека. Животные не способны синтезировать витамины и линолевую кислоту.

В живых организмах энергия аккумулируется и передается при помощи фосфорных соединений; без фосфора невозможна передача наследственной информации (фосфор входит в состав ДНК и РНК). Вместе с кальцием фосфор образует у животных минеральную часть скелета. Определенную роль в процессах энергии выполняет и сера, которая входит также в состав незаменимой аминокислоты метионина, не синтезируемой в организме животных. Без K и Na невозможно проведение первого импульса и поддержание внутриклеточного давления у животных. Кальций и магний входят в состав скелетов у животных и отвечают за мышечные сокраще-

ния. Магний участвует в работе некоторых ферментов, особенно фосфотранс-феразы, играющих большую роль в энергообмене. Все зольные элементы в организме функционируют в виде ионов, а не в связанном органическим веществом соединениях [19].

Животные оказывают определенное влияние на миграцию биогенов в природе. Особенно это сильно проявляется в процессе роющей деятельности почвенных организмов. Так кроты вместе с почвой перемещают в дерновых почвах углерода – свыше 70, кремния – до 3000, железа – до 240, алюминия – до 480, обменного алюминия – свыше 1 кг/га, что значительно превышает растительный спад. Большую роль в круговороте биогенов играют муравьи и термиты, связанную с высокой плотностью и численностью их гнезд (на 1 га их число доходит до нескольких сотен): муравьи выносят органического вещества до 800 г/м², а дождевые черви выбрасывают капролитов в лесу до 130 г/м².

Живые организмы регулируют круговорот кислорода, азота и меньше фосфора, серы, углерода и микроэлементов. Микроорганизмы создают газообразный азот, составляющий на 78 % атмосферу. Биогенное происхождение и подавляющей части углекислоты в атмосфере, образуемой организмами при дыхании (в основном корнями растений и бактериями). Бактерии дышат в пересчете на живой вес в 200 раз интенсивнее человека, а их масса на каждом гектаре оценивается тоннами. Перераспределение газов имеет большое значение в обмене веществ между живой и неживой природой. Синтезируя органическое вещество, растения поглощают из атмосферы углекислый газ и выделяют кислород: связывание в органическом веществе 1 т углерода сопровождается выделением в атмосферу 2,7 т кислорода или на гектар ежегодно выделяется в атмосферу кислорода около $1,1 \times 10^9$ м³ [24].

Состав древних отложений серы и углерода указывает на наличие следов кислородной атмосферы на Земле около 4 млрд лет назад. Живот-

ные заметно влияют на перераспределение биогенов по цепям питания. Например, беспозвоночные, обитающие в кронах сосен, в своем теле накапливают в 1000–3000 меньшее количество натрия, калия, фосфора, чем хвоя, которую они используют в качестве пищи, а уже в биомассе птиц, питающихся этими беспозвоночными, содержание этих элементов в 2 раза ниже, чем в биомассе беспозвоночных. Насекомые, питающиеся на лугу, накапливают в своих тканях С, N, P, K, Na, Fe всего лишь до 2 % от их содержания в растениях.

Таким образом, животные накапливают в своем теле многие элементы, что и определяет интерес к их геохимической деятельности в биогенной миграции элементов, установление их роли в функционировании экосистем и биосферы. Поскольку животные занимают незначительную по массе часть живого вещества на суше, то долгое время их значение в биогенной миграции элементов совершенно игнорировалось. Однако роль некоторых животных в миграции отдельных элементов весьма значительна, и не учитывать это при оценке круговоротов некоторых веществ нельзя. Например, роль животных велика в разложении подстилки, в переработке живых и мертвых корней растений в почве и т.д. Существенная роль животных в миграции подвижных соединений азота, фосфора и без таких сведений невозможно правильно регулировать их круговорот [17, 18, 21].

Для многих животных характерно сходство концентраций макроэлементов (С, Р, К, Mg, Na) и содержания воды в теле независимо от их систематического положения, типа питания, района исследования; концентрация микроэлементов в теле животных обусловлена видовыми особенностями и их концентрацией в пище. Влияние животных на биогенный круговорот отдельных элементов снижается от макроэлементов – углерода, азота, фосфора к микроэлементам, тяжелым металлам, редким и рассеянными элементами [22].

Особое место занимают азот, фосфор и калий, доступные формы которых концентрируются в основном в биомассе организмов в экосистемах. И роль животных в этих процессах достаточно важна, поскольку именно животные и микроорганизмы сдерживают выход этих элементов из экосистемы, создавая малый круговорот этих веществ в цепях питания.

Перемещение других биогенных элементов в значительной степени связано с азотом и фосфором и потому их малые круговороты в естественных экосистемах достаточно емкие и значительно меньшее количество этих элементов выходит за пределы системы и еще меньше их переходит в неподвижные фонды. Просматривается ключевая роль в накоплении и определении путей миграции биогенов в экосистемах важнейших элементов минерального питания для растений и животных – азота, фосфора, калия – и прежде всего для микроорганизмов [24].

Следует подчеркнуть, что в биогенной миграции элементов участие животных проявляется прямо или косвенно, больше или меньше, а потому не учитывать их количественного влияния, безусловно, нельзя.

Понимание устойчивости систем. Климатические условия каждого региона указывают на постоянство окружающей среды, но установить соответствие между этими условиями и популяциями различных таксонов не всегда можно. Для крупных особей с низким отношением их площади к обмену влияния внешней среды на их внутреннюю среду существенно меньше, чем для относительно мелких организмов, у которых отношения площади к объему резко увеличиваются. Влияние изменений среды до определенного уровня сглаживаются массивностью биомасс (чем она больше, тем меньше действие среды) и умеренностью процессов, определяющих обновление популяций организмов. Зрелые организмы и полночленные популяции более гибкие и устойчивые, чем молодые особи и неполночленные популяции; молодые особи и неполночленные популяции

мельче, физиологически менее развиты, а животные менее опытные. При левосторонней популяции она менее устойчива [4, 11].

Большое значение для устойчивости имеют продолжительность её реакции на изменение условий среды обитания. Популяции мелких организмов, отличающиеся интенсивным размножением, быстрее реагируют на изменение среды, чем крупные. Для мелких организмов существует несколько направлений (морфологических, физиологических, эволюционных), позволяющих им пережить краткосрочные изменения среды. На устойчивость к изменениям среды оказывают прямо противоположное влияние отношения продуктивности биомассы и размеров особей. Мелкие организмы достигают больших количеств в популяциях, и они весьма заметно реагируют на изменяющиеся условия увеличением или падением количества (и биомассы). Крупные организмы имеют небольшие популяции, и они весьма консервативны в реакции на многие изменения среды [14].

Следует считать устойчивыми популяциями независимо от размеров организмов, если они устойчивы длительный период при изменяющихся условиях среды. Неустойчивость определяется по выпадению популяции. Устойчивость крупных популяций всегда выше, чем мелких независимо от их размеров и биомассы. Устойчивость вида (или популяции) определяется степенью его специализации находить и использовать ресурсы, а также размеры популяции, более приспособленной по сравнению с их паразитами, хищниками, конкурентами и жертвами. В процессе эволюционного развития виду легче приспособиться к борьбе с немногочисленными своими врагами (хищники, конкуренты, паразиты), чем виду с многочисленными врагами. Если зайца в степи преследует орел, то он может уйти от хищника бегством. Но если зайца преследует также человек и волк, то одним бегством зайцу не спастись.

Устойчивость экосистемы определяется высоким разнообразием составляющих его видов и сложностью трофических связей в ней. Сложная

система, как правило, сглаживает и реже усиливает действие отдельных условий на её реакцию. В опытах К. Watt (1964), изучавшего флуктуации в популяциях чешуекрылых, обитающих на деревьях, установлено, что размеры популяции насекомых возрастают с увеличением числа пород деревьев, используемых насекомыми в качестве источника питания [26].

Последствия нарушений условий жизнеобеспечения системы, как правило, одни и те же: число видов снижается, а численность популяций, выживших видов, резко возрастает. Так перевыпас луга ведет к его зарастанию кустарниками, достигающими большого обилия, затеняющие поверхность почвы, снижающие испарение, создающие благоприятные условия для осок и других болотных видов и изменяющих навсегда характер системы, что создает губительные условия для многих ранее существовавших видов.

Элементы стабильности и устойчивости в динамической природе земной поверхности просматриваются в процессах энергообмена и формирования первичной продукции, определяющих круговороты вещества в экосистемах вплоть до биосферы. Эти процессы являются основным критерием упорядоченности природы. Наша планета представляет собою открытую систему в космосе, а потому её развитие связано и определяется законами космоса, с частями которого происходит постоянный обмен веществом и энергией [21, 22].

Процессы ассимиляции и диссимиляции составляют основу жизни и определяют характер обмена веществ; эти процессы равновесны лишь относительно, поскольку развитие и увеличение живого вещества базируется на лучистой энергии солнца и вовлечении в биологический круговорот биогенных веществ, что обуславливает постоянное накопление и нарастание массы продуктов жизнедеятельности организмов, которые выделяются в среду их обитания, включаемые в круговороты или пополняющие массу активных веществ (кислород и другие газы). Минерализация соединений

углерода, исключение этого элемента из круговорота, а энергии из пищевых цепей, идет вместе с процессами ассимиляции. Кроме того накапливаются биогенные карбонатные и кремнистые осадочные слои, что указывает на формирование шлаков в ходе биологических процессов.

Свой механизм устойчивости и равновесия по отношению к внешним и внутренним условиям (формирование ландшафтов, экосистем и т.д.) создает и биосфера, выступающая как глобальный трансформатор вещества и энергии. Адаптация к условиям внешней среды (количество и соотношение тепла и влаги, их динамика, химизм и другие свойства почвогрунтов и воды) является одним из важных механизмов, обеспечивающих устойчивость биосферы как системы. Создание биосферой современной атмосферы и почв также следует отнести к числу важнейших механизмов биологического равновесия в природе [22].

Очень важным механизмом устойчивости и равновесия природы является эволюционный процесс развития живого на Земле, интенсивность которого определяется, с одной стороны, биологическими факторами (конкуренция, отбор), с другой, солнечная радиация, и с третьей, изменения внешней среды (химические, термические, трофические), ускоряющие или тормозящие этот процесс. Иными словами, механизмы, обеспечивающие устойчивость и равновесие в природе, с одной стороны, до удивления просты, а с другой, архисложны, а потому и предсказать развитие отдельных экосистем, как и биосферы в целом весьма непросто, если просто невозможно.

Биосферу можно охарактеризовать как систему с относительной устойчивостью и постоянно варьирующим равновесием противоположных сил, доказательством чему может быть растительность и слишком выраженная неэкономичность её функционирования, что нередко ведет к обособлению тупиковых вариантов развития её отдельных звеньев и компонентов. Человек активно влияет на биосферу и всю географическую обо-

лочку через получение и использование энергии, новых веществ и соединений и изменяет природу в нужном для себя направлении (строит плотины, электростанции, города и т.д.). В таком аспекте человек выступает как разрушитель природы, её деформатор. Этот процесс начался давно, когда человек научился выделять отдельных животных, чтобы выжить самому, что вело к изменению видового состава организмов в природе. Везде, где человек поддерживал результаты своего труда вложением новых сил, изменения приобретали необратимый характер. Своими нововведениями в отношении с природой человек видоизменяет круговороты веществ, нарушает сложившиеся потоки энергии, создает новые технологии (весьма автономные), а также круговороты веществ и направления энергии [17].

Список литературы

1. Белюченко И.С. Зонирование территории Краснодарского края и особенности функционирования природных и техногенных систем // Экологические проблемы Кубани. – 2003. – № 20. – С. 4–19.
2. Белюченко И.С. Региональный мониторинг – научная основа сохранения природы // Экол. Вестник Сев. Кавказа. – 2006. – Т. 2. – № 1. – С. 25–40.
3. Белюченко И.С., Волошина Г.В., Фалин А.Г., Стешенко А.И. К вопросу о процессе нитрификации в агроландшафтах степной зоны Краснодарского края // Экологические проблемы Кубани. – 2006. – № 32. – С. 218–222.
4. Белюченко И.С. Введение в общую экологию. – Краснодар. – 1997. – 544 с..
5. Белюченко И.С. Влияние фосфогипса на трансформацию азота в черноземе обыкновенного степной зоны Кубани // Экол. Вестник Сев. Кавказа. – 2008. – Т. 4. – № 2. – С. 144–147.
6. Белюченко И.С. Использование фосфогипса для рекультивации чернозема обыкновенного в степной зоне Кубани // I Всероссийская Научная конференция. – Краснодар, 2009. – С. 54–59.
7. Белюченко И.С. Проблемы рекультивации отходов быта и производства (по материалам I Всероссийской научной Конференции по проблемам рекультивации отходов) // Экол. Вестник Сев. Кавказа. – 2009. – Т. 5. – № 3. – С. 72–77.
8. Белюченко И.С. К вопросу о формировании и свойствах органоминеральных компостов и реакции растений кукурузы на их внесение // Экол. Вестник Сев. Кавказа. – 2011. – Т. 7. – № 4. – С. 65–74.
9. Белюченко И.С. Роль регионального мониторинга в управлении природно-хозяйственными системами края // Экол. Вестник Сев. Кавказа. – 2010. – Т. 6. – № 4. – С. 3–16.
10. Белюченко И.С. Экологические проблемы степной зоны Кубани, причины их возникновения и пути решения // Экол. Вестник Сев. Кавказа. – 2011. – Т. 7. – № 3. – С. 47–64.

11. Белюченко И.С. Экология Краснодарского края (региональная экология). – Краснодар. – 2010. – 354 с.
12. Белюченко И.С. Влияние внесения органоминерального компоста на плотность сложения и порозность чернозема обыкновенного // И.С. Белюченко, Д.А. Славгородская. – Тр. КубГАУ. 2011. – Т. 1. – № 32. – С. 69–71.
13. Белюченко И.С. Введение в экологический мониторинг. – Краснодар. – 2011. – 297 с.
14. Белюченко И.С. К вопросу о механизмах управления развитием сложных компостов // Экол. Вестник Сев. Кавказа. – 2012. – Т. 8. – № 3. – С. 88–113.
15. Белюченко И.С. Сложный компост и его роль в улучшении почв // Экол. Вестник Сев. Кавказа. – 2012. – Т. 8. – № 2. – С. 75–86.
16. Белюченко И.С. Использование отходов быта и производства для создания сложных компостов с целью повышения плодородия почв // Тр. / КубГАУ. – Краснодар, 2012. – № 38. – С. 68–72.
17. Белюченко И.С. Применение органических и минеральных отходов для подготовки сложных компостов с целью повышения плодородия почв // Тр. / КубГАУ. – Краснодар, 2012. – № 39. – С. 63–68.
18. Белюченко И.С. Влияние органоминерального компоста на плотность сложения и порозность чернозема обыкновенного // И.С. Белюченко, Д.А. Славгородская, В.В. Гукалов. – Тр. КубГАУ. 2012д. – Т. 1. – № 34. – С. 88–90.
19. Белюченко И.С. Дисперсные и коллоидные системы отходов и их коагуляционные свойства // Экол. Вестник Сев. Кавказа. – 2013. – Т. 9. – № 1. – С. 13–38.
20. Белюченко И.С., Славгородская Д.А. Изменение плотности и аэрации пахотного слоя чернозема обыкновенного под влиянием сложного компоста // Докл. Российской академии сельскохозяйственных наук. 2013. – № 2. – С. 40–42.
21. Белюченко И.С. Применение органических и минеральных отходов при подготовке сложных компостов для повышения плодородия почв // В сб.: Проблемы рекультивации отходов быта, промышленности и сельскохозяйственного производства. – Краснодар. – 2013. – С. 26–30.
22. Белюченко И.С. Сложные компосты как источник расширения экологических ниш культурных растений в системе почвенного покрова // Тр. Международной Конференции «Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства». – Краснодар, 2013. – С. 12–14.
23. Вернадский В.И. Химическое строение биосферы Земли и её окружения. – М.: Наука, 1987. – 339 с.
24. Вернадский В.И. Живое вещество и биосфера. – М.: Наука, 1994. – 672 с.
25. Вернадский В.И. Биосфера. Избранные труды по биогеохимии. – М.: Мысль, 1967. – 374 с.
26. Watt K.E.F. Comments on fluctuations on animal populations and measures of community stability. *Canad. Entomol.*, 1964, 96, 1434–1442.

References

1. Beljuchenko I.S. Zonirovanie territorii Krasnodarskogo kraja i osobennosti funkcionirovaniya prirodnyh i tehnogennyh sistem // *Jekologicheskie problemy Kubani*. – 2003. – № 20. – С. 4–19.
2. Beljuchenko I.S. Regional'nyj monitoring – nauchnaja osnova sohraneniya prirody // *Jekol. Vestnik Sev. Kavkaza*. – 2006. – Т. 2. – № 1. – С. 25–40.

3. Beljuchenko I.S., Voloshina G.V., Falin A.G., Steshenko A.I. K voprosu o processe nitrifikacii v agrolandshaftah stepnoj zony Krasnodarskogo kraja // Jekologicheskie problemy Kubani. – 2006. – № 32. – S. 218-222.
4. Beljuchenko I.S. Vvedenie v obshhuju jekologiju. – Krasnodar. – 1997. – 544 s..
5. Beljuchenko I.S. Vlijanie fosfogipsa na transformaciju azota v chernozeme obyknennom stepnoj zony Kubani // Jekol. Vestnik Sev. Kavkaza. – 2008. – T. 4. – № 2. – S. 144-147.
6. Beljuchenko I.S. Ispol'zovanie fosfogipsa dlja rekul'tivacii chernozema obyknovenno v stepnoj zone Kubani // I Vserossijskaja Nauchnaja konferencija. – Krasnodar, 2009. – S. 54-59.
7. Beljuchenko I.S. Problemy rekul'tivacii othodov byta i proizvodstva (po materialam I Vserossijskoj nauchnoj Konferencii po problemam rekul'tivacii othodov) // Jekol. Vestnik Sev. Kavkaza. – 2009. – T. 5. – № 3. – S. 72-77.
8. Beljuchenko I.S. K voprosu o formirovanii i svojstvah organomineral'nyh kompostov i reakcii rastenij kukuruzy na ih vnesenie // Jekol. Vestnik Sev. Kavkaza. – 2011. – T. 7. – № 4. – S. 65-74.
9. Beljuchenko I.S. Rol' regional'nogo monitoringa v upravlenii prirodno-hozjajstvennymi sistemami kraja // Jekol. Vestnik Sev. Kavkaza. – 2010. – T. 6. – № 4. – S. 3-16.
10. Beljuchenko I.S. Jekologicheskie problemy stepnoj zony Kubani, prichiny ih voznikovenija i puti reshenija // Jekol. Vestnik Sev. Kavkaza. – 2011. – T. 7. – № 3. – S. 47-64.
11. Beljuchenko I.S. Jekologija Krasnodarskogo kraja (regional'naja jekologija). – Krasnodar. – 2010. – 354 s.
12. Beljuchenko I.S. Vlijanie vnesenija organomineral'nogo komposta na plotnost' slozhenija i poroznost' chernozema obyknovenno // I.S. Beljuchenko, D.A. Slavgorodskaja. – Tr. KubGAU. – 2011. – T. 1. – № 32. – S. 69-71.
13. Beljuchenko I.S. Vvedenie v jekologicheskij monitoring. – Krasnodar. – 2011. – 297 s.
14. Beljuchenko I.S. K voprosu o mehanizmah upravlenija razvitiem slozhnyh kompostov // Jekol. Vestnik Sev. Kavkaza. – 2012. – T. 8. – № 3. – S. 88-113.
15. Beljuchenko I.S. Slozhnyj kompost i ego rol' v uluchshenii pochv // Jekol. Vestnik Sev. Kavkaza. – 2012. – T. 8. – № 2. – S. 75-86.
16. Beljuchenko I.S. Ispol'zovanie othodov byta i proizvodstva dlja sozdanija slozhnyh kompostov s cel'ju povyshenija plodorodija pochv // Tr. / KubGAU. – Krasnodar, 2012. – № 38. – S. 68-72.
17. Beljuchenko I.S. Primenenie organicheskikh i mineral'nyh othodov dlja podgotovki slozhnyh kompostov s cel'ju povyshenija plodorodija pochv // Tr. / KubGAU. – Krasnodar, 2012v. – № 39. – S. 63-68.
18. Beljuchenko I.S. Vlijanie organomineral'nogo komposta na plotnost' slozhenija i poroznost' chernozema obyknovenno // I.S. Beljuchenko, D.A. Slavgorodskaja, V.V. Gukalov. – Tr. KubGAU. – 2012d. – T. 1. – № 34. – S. 88-90.
19. Beljuchenko I.S. Dispersnye i kolloidnye sistemy othodov i ih koaguljacionnye svojstva // Jekol. Vestnik Sev. Kavkaza. – 2013. – T. 9. – № 1. – S. 13-38.
20. Beljuchenko I.S., Slavgorodskaja D.A. Izmenenie plotnosti i ajeracii pahotnogo sloja chernozema obyknovenno pod vlijaniem slozhno komposta // Dokl. Rossijskoj akademii sel'skohozjajstvennyh nauk. – 2013. – № 2. – S. 40-42.
21. Beljuchenko I.S. Primenenie organicheskikh i mineral'nyh othodov pri podgotovke slozhnyh kompostov dlja povyshenija plodorodija pochv // V sb.: Problemy rekul'tivacii othodov byta, promyshlennosti i sel'skohozjajstvenno proizvodstva. – Krasnodar. – 2013. – S. 26-30.

22. Beljuchenko I.S. Slozhnye komposty kak istochnik rasshirenija jekologicheskikh nish kul'turnyh rastenij v sisteme pochvennogo pokrova // Tr. Mezhdunarodnoj Konferencii «Problemy rekul'tivacii othodov byta, promyshlennogo i sel'skohozjajstvennogo proizvodstva». – Krasnodar, 2013. – S. 12-14.
23. Vernadskij V.I. Himicheskoe stroenie biosfery Zemli i ejo okruzhenija. – M.: Nauka, 1987. – 339 s.
24. Vernadskij V.I. Zhivoe veshhestvo i biosfera. – M.: Nauka, 1994. – 672 s.
25. Vernadskij V.I. Biosfera. Izbrannye trudy po biogeohimii. – M.: Mysl', 1967. – 374 s.
26. Watt K.E.F. Comments on fluctuations on animal populations and measures of community stability. Canad. Entomol., 1964, 96, 1434-1442.