

УДК 631.879.42: 574.4

UDC 631.879.42: 574.4

СЛОЖНЫЙ КОМПОСТ И КРУГОВОРОТ АЗОТА И УГЛЕРОДА В АГРОЛАНДШАФТНЫХ СИСТЕМАХ**COMPLEX COMPOST AND CIRCULATION OF NITROGEN AND CARBON AT THE AGROLANDSCAPE SYSTEMS**

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 включает все элементы таблицы Менделеева и потому ценен комплексностью своей системы. Среди элементов, формирующих химический состав сложного компоста, можно выделить два важнейших, отличающихся своеобразием характера взаимодействия друг с другом и определяющих основные процессы обеспечения вегетации живых систем, – это азот и углерод. Азот определяет скорость энергообмена и связан с живыми формами органической материи, входит в состав белков и является основным элементом, определяющим продуктивность экосистем. В круговороте углерода принимают участие его органические формы и углекислый газ, представляя основные факторы процессов дыхания и фотосинтеза

Complex compost includes all elements of the periodic table and is valuable due to the complexity of its system. Among the elements forming a chemical composition of the complex compost we can identify two most important, which are distinguishing a specific character of the interaction with each other and defining the basic processes to ensure vegetation of living system - nitrogen and carbon. Nitrogen determines the rate of energy and connects with living forms of organic matter; it is included as the part of protein and is a major element in determining the productivity of ecosystems. At the cycle of carbon its organic forms and carbon dioxide take a part, presenting the main factors of the processes of respiration and photosynthesis

Ключевые слова: КРУГОВОРОТ АЗОТА, ВОССТАНОВЛЕНИЕ И ОКИСЛЕНИЕ УГЛЕРОДА, КРУГОВОРОТ УГЛЕРОДА, СООТНОШЕНИЕ УГЛЕРОДА К АЗОТУ И ФОСФОРУ, БИОЛОГИЧЕСКИЙ АЗОТ, АВТОТРОФЫ И ГЕТЕРОТРОФЫ, ДЕНИТРИФИКАЦИЯ

Keywords: NITROGEN CYCLE, REDUCTION AND OXIDATION OF CARBON, CARBON CYCLE, CORRELATION OF CARBON TO NITROGEN AND PHOSPHORUS, BIOLOGICAL NITROGEN, AUTOTROPHS AND HETEROTROPHS, DENITRIFICATION

Введение. Использование сложного компоста под посев сельскохозяйственных культур в расчете 65 т/га общей смеси различных отходов оказывает существенное влияние на физические, химические и биологические свойства верхнего слоя почвы и отражает заметную реакцию на развитие (включая продолжительность вегетации), урожайность и качество продукции изучаемых растений в севообороте в течение 5-6 лет вегетации. Например, посев озимой пшеницы в наших опытах в ОАО «Заветы Ильича» Ленинградского района [1] удлинит период вегетации травостоя при недостатке влаги на 7-8 дней, а при достаточном увлажнении – до 10-15 дней, что существенно влияет на урожайность пшеницы и повышает качество её зерна, которое выражается в концентрации органических веществ включая количество белка (на 1,3-2,0%) и его качество, клейковину (на 3,0-4,0%), полезные аминокислоты, провитамин А, витамины группы В, растворимые полисахариды, улучшающие работу кишечника, биотин (витамин Н), укрепляющий иммунную систему организма, а также клетчатки, содержащей растворимое волокно (бетаглюкан), благоприятствующей снижению в крови концентрации холестерина, и минеральных элементов – кальция, марганца, серы, железа, калия, цинка, йода [31, 36, 37].

Указанные особенности реакции озимой пшеницы на внесение сложного компоста обусловили необходимость изучения различных свойств поверхностного слоя почвы (0-20 см) при их смешивании перед посевом изучаемой культуры. Внесение сложного компоста, в составе которого концентрируется большое количество кальция, серы, фосфора, ряда микроэлементов, влияет благоприятно на развитие посевов, усиливая

образование придаточных корней, кушение побегов от начального периода вегетации растений и до их созревания.

Весьма рационально расходуются запасные вещества высеянных семян в варианте со сложным компостом (на 25% экономнее, в варианте с перегноем, и на 45% – по сравнению с водой). Масса оставшегося семени озимой пшеницы в варианте со сложным компостом была на уровне контроля и заметно выше варианта с перегноем. Различия в прорастании семян пшеницы при их обваливании перед посевом в разных дисперсных средах указывают на возможность разработки способов ускорения прорастания и интенсификации развития посевов этой культуры на самом начальном этапе формирования урожая [1].

С целью изучения влияния отдельных сред на прорастание семени озимой пшеницы замачивали на 4-5 мин в дистиллированной воде, а затем обваливали в почве, перегное, фосфогипсе и их смеси и помещали в чашки Петри на смоченную обычной водой фильтровальную бумагу. Всходы появились на 3-4-й день. Через 2 недели после всходов проанализировали проростки, определили общую массу, массу корней и проростков. В варианте с фосфогипсом проростки пшеницы образовали наибольшую массу корней, доля которых составила 52%, превосходя по этому показателю остальные варианты опыта. Доля листовых образований в варианте с фосфогипсом была наименьшей (34%), с водой – 53%, а с почвой – 47% и на смеси – 46% [1, 2, 4, 5].

Фосфогипс удлиняет период развития растений до кушения за счет усиленного развития корней, а затем и кушения, и формирования дополнительных придаточных побегов, а затем и генеративной фазы. Кушение растений пшеницы было интенсивное в разреженном посеве (3 млн/га) на 20% по сравнению с загущенным (5 млн/га), а число придаточных корней – на 30,5%. Сложный компост оказал заметное влияние на химический состав зерна озимой пшеницы (табл. 1).

Таблица 1. Влияние сложного компоста на качество зерна озимой пшеницы

Показатель	Сложный компост	Контроль
Влажность	14,0	13,8
Гумус, %	3,4	3,3
pH	6,8	7,35
Нобщ., %	0,35	0,22
NO ₃ , мг/кг	61,15	39,4
P ₂ O ₅ , мг/кг	112,4	78,5
SO ₄ ⁻² , мг/кг	125,2	71,4
CaO, мг/кг	0,138	0,087
Протеин, %	12,8	11,5
Клейковина, %	19,7	16,7
Стекловидность, %	43,4	40,3
ИДК, ед	63	62
Углеводы, г/100 г	20,4	19,6
Растворимые полисахариды, г/100 г	6,7	3,9
Незаменимые аминокислоты, г/100 г	9,8	4,9
Провитамин А, мг/100 г	0,9	-
Витамины группы В, мг/100 г	0,8	-
Биотин (витамин Н), мг/100 г	0,5	0,1
Бетаглюкан (клетчатка с растворимым волокном), мг/100 г	3,4	1,6

В варианте со сложным компостом качество зерна пшеницы было существенно выше, чем на контроле, например, по содержанию фосфора, кальция, серы, нитратов,

аммония. Невысокое содержание тяжелых металлов влияния на урожайность и его качество не оказало. Весьма заметно повышалось содержание органических веществ в зерне пшеницы. В варианте со сложным компостом качество зерна пшеницы было существенно лучше, чем на контроле, например, за счет содержания фосфора, кальция, серы, нитратов, аммония. Весьма заметно повысилось содержание органических веществ в зерне пшеницы [8, 9].

Сложный компост, включая практически все элементы органического и минерального комплексов земной и космической системы, имеет большое разнообразие количественного и качественного наборов отдельных веществ, физических и химических составляющих, отличающихся содержанием органических веществ – незаменимых аминокислот, витаминов и других соединений.

В состав сложного компоста входят все элементы таблицы Д.И. Менделеева, и их участие в создании комплексной системы архиважно. Однако среди очень важных элементов можно выделить наиважнейшие два, которые отличаются своеобразным характером взаимодействия друг с другом и определяют основные процессы развития живых систем и их функционирования – это углерод и азот. Остановимся на анализе особенностей обмена углерода и его органических форм.

Углерод. Важное место в оценке энергетического обмена сложных компостов, как важнейшего регулятора развития растений, занимает углерод, который по распространенности во вселенной стоит на 3-м месте после водорода и гелия [7].

Углерод и его роль в развитии Земли. Углерод в организме – важнейший биогенный элемент, составляющий основу жизни на Земле, структурная единица огромного числа органических соединений, участвующих в построении организмов и обеспечении их жизнедеятельности (биополимеры, а также многочисленные низкомолекулярные биологически активные вещества – витамины, гормоны, медиаторы и др.). Значительная часть необходимой организмам энергии образуется в клетках за счет окисления углерода. Возникновение жизни на Земле рассматривается в современной науке как сложный процесс эволюции углеродистых соединений. Всего 3 элемента – С, Н и О – составляют 98 % общей массы живых организмов. Этим достигается экономичность в живой природе [31, 35].

Согласно гипотезе А.И.Опарина (1924), первые органические соединения на Земле имели абиогенное происхождение. Источниками углерода служили метан CH_4 и цианистый водород HCN , содержащиеся в первичной атмосфере Земли. С возникновением жизни единственным источником неорганического углерода, за счет которого образуется все органическое вещество биосферы, является двуокись углерода CO_2 , находящаяся в атмосфере, а также растворенная в природных водах в виде HCO_3^- и CO_3^{2-} . Наиболее мощный механизм усвоения углерода – фотосинтез – осуществляется повсеместно зелеными растениями (ежегодно ассимилируется около 100 млрд тонн CO_2).

Существует и эволюционно более древний способ усвоения CO_2 – хемосинтез. В этом случае микроорганизмы используют не лучистую энергию Солнца, а энергию окисления неорганических соединений. Процессы микробиологического потребления CO_2 используются в промышленности. Так, применение для биосинтеза белка и других питательных веществ микроорганизмов, использующих в качестве единственного источника углерода углеводороды нефти, – одна из важных современных научно-технических проблем [4].

Содержание углерода в живых организмах в расчете на сухое вещество составляет: 34,5-40 % - у водных растений и животных; 45,4-46,5 % - у наземных растений и животных и 54 % - у бактерий. Помимо основной функции – источника углерода, углекислый газ, растворенный в природных водах и в биологических жидкостях, участвует в поддержании оптимальной для жизненных процессов кислотности среды. В составе

CaCO_3 углерод образует наружный скелет беспозвоночных, а также содержится в кораллах, яичной скорлупе и т.д. Такие соединения, как HCN , CO , CCl_4 , преобладавшие в первичной атмосфере Земли, в дальнейшем, в процессе биологической эволюции, превратились в сильные антиметаболиты обмена веществ.

Поскольку углеродистые соединения являются основой жизни на Земле, то изучение их возникновения следует начинать с начала формирования простейших органических веществ, которые являются важнейшей материальной основой жизни в современном её представлении, включая весь комплекс биологического обмена веществ. Появлению жизни предшествовало независимое от жизни (абиогенное) образование органических веществ, из которых простейшими являются углеводороды [4, 10]. Водород составляет основу Вселенной и количественно преобладает над всеми вместе взятыми элементами. Живая материя на Земле состоит на 95% из водорода, углерода, азота и кислорода, которые являются самыми распространенными элементами в Космосе [7, 8].

Чрезвычайно важная роль углерода в возникновении жизни на Земле и ее дальнейшем развитии определяется совокупностью его физических и химических свойств, характерных только этому элементу нашей планеты. Атом углерода состоит из ядра с четырьмя равноценными валентными электронами на внешней орбите, которые могут быть использованы в образовании связей с другими атомами, обеспечивая построение линейных, разветвленных и циклических углеродных скелетов. Специфическая способность атомов углерода соединяться между собой с образованием прочных и длинных цепей и циклов привела к возникновению громадного числа разнообразных соединений углерода, изучаемых органической химией. Уникальность строения атома углерода лежит в основе различных изомерных форм органических соединений (оптическая, геометрическая и т.д.), у которых проявляется степень окисления -4 , $+2$, $+4$. При обычных условиях углерод химически инертен, но при повышенных температурах он соединяется со множеством элементов и потому легко вступает в контакт с различными веществами [36, 37].

Следует подчеркнуть, что между атомами углерода и атомами других элементов образуются относительно прочные химические связи, которые могут быть одинарными, двойными и тройными) [37]. В определенных условиях эти связи легко разрываются в процессе синтеза или расщепления органических веществ. Для процессов синтеза и расщепления органических веществ природа остановилась в своем выборе именно на углероде. Попытаемся обосновать выбор этого элемента с учетом особенностей его поведения в различных средах и специфике взаимоотношений с представителями отдельных групп земных элементов.

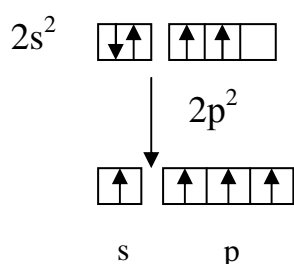
Углерод (C) находится в периодической системе Д.М. Менделеева в 4-й главной группе 2-го периода; его атомный номер 6; атомная масса 12,011; имеет 2 стабильных изотопа ^{12}C (98,89 %) и ^{13}C (1,11 %). Помимо стабильных изотопов углерода, в природе распространен радиоактивный изотоп ^{14}C ($T_{1/2}=5,6 \times 10^3$ лет); в организме человека его содержание составляет 0,1 мкКюри. Небольшие количества ^{14}C (около 2×10^{-10} %) образуются в верхних слоях атмосферы при действии нейтронов космического излучения на изотоп ^{14}N . Определение удельной активности в углеродсодержащих органических остатках позволяет судить об их возрасте, что используется в палеонтологии и археологии [37].

Известно 4 аллотропных модификации углерода, существующего в форме четырех простых веществ: алмаз, графит, карбин и лонсдейлит. Алмаз является очень твердым кристаллическим веществом с атомной координационной кубической решеткой. Графит – слоистое кристаллическое вещество с гексагональной структурой. Получаемый при термическом разложении органических соединений черный графит, или уголь, представляет собой тонкоизмельченный графит. Технически наибо-

лее важными сортами черного графита являются кокс, древесный уголь, животный уголь и сажа. Карбин получен искусственно. Он представляет собой мелкокристаллический порошок черного цвета. Его решетка гексагональная, построена из длинных цепочек атомов углерода, уложенных параллельно друг другу. Строение карбина: $(-C\equiv C-C\equiv C-C\equiv C-)_n$. Лонсдейлит найден в метеоритах. Его структура и строение не установлены. Сочетание атомов углерода разных гибридных состояний в единой полимерной структуре обуславливает множество аморфных форм углерода, например, стеклоуглерод и другие [36].

В земной коре углерод находится в составе карбонатных минералов (прежде всего $CaCO_3$ и $MgCO_3$), каменного угля, нефти, в виде графита и реже алмаза. Примерно 10%, добываемого углерода в виде угля и нефти, используется для получения пластмасс и т.д. Остальной добываемый углерод используется на топливо.

Углерод в таблице Д.И. Менделеева занимает особое место. Конфигурация электронной оболочки атома углерода представляет собой $1s^2 2s^2 2p^2$, и в обычном состоянии он имеет на внешнем энергетическом уровне 2 спаренных и 2 неспаренных электрона. С точки зрения энергетики образование связи для легких элементов, когда в атоме два неспаренных электрона участвуют в образовании связи, а электронная пара и вакантная орбиталь остаются незадействованными, исключительно невыгодна. Поэтому атомные орбитали углерода рассматривают с позиции гибридизации. Это происходит следующим образом: атом углерода переходит в возбужденное состояние, и один 2s-электрон занимает вакантную p-орбиталь, т. е. в возбужденном состоянии углерод имеет 4 неспаренных электрона, что позволяет ему в равной степени как притягивать, так и отдавать электроны, и все три p-орбитали расположены взаимно перпендикулярно.

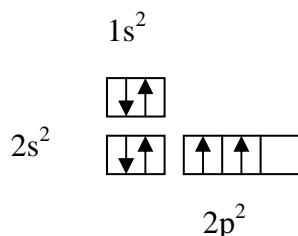


В результате гибридизации с s-орбиталью образуются 4 равноценные sp^3 -гибридные орбитали, расположенные под углом 109° друг к другу. Образование связей углерода с другими элементами или с другими углеродными атомами происходит путем перекрывания электронных облаков по оси, соединяющей атомы. Углерод может образовывать между собой двойные и тройные связи. При образовании двойных связей гибридизация имеет sp^2 -форму, а именно: одна из связей остается σ -связью, то есть электронные облака перекрываются по оси C–C. Вторая связь, называемая π -связью, образуется в плоскости, перпендикулярной плоскости sp^2 -гибридных облаков, и перекрывание p-облаков происходит под и над этой плоскостью [36, 37].

При образовании тройной связи происходит образование одной σ -связи sp -гибридных облаков и двух π -связей в плоскостях взаимно перпендикулярных, например, ацетилен. В случае, если углерод отдает валентные электроны на образование связей с другими элементами, то возникают аналогичные σ и π -связи, например, в оксосоединениях (альдегиды и кетоны). При этом пары электронов, образующие σ и π -связи, в зависимости от электроотрицательности элементов, смещаются частично в сторону более электроотрицательного элемента, и, чаще всего, атом углерода принимает частичный положительный заряд, а заместитель – частично отри-

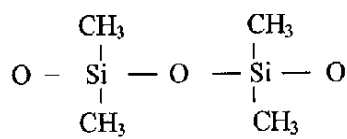
цательный. Заместителями, как правило, могут выступать элементы пятой (N и P), шестой (O, S) и седьмой групп (галогены).

Именно с этой позиции гибридизации рассматривают химические свойства элементов главной подгруппы четвертой группы, а именно: C – углерода, Si – кремния, Ge – германия, Sn – олова и Pb – свинца.

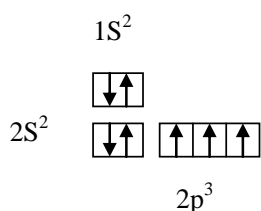


Аналогично углероду, кремний имеет на внешнем энергетическом уровне sp^3 -гибридные орбитали, но, в отличие от атома углерода, за счет увеличения числа электронных уровней кремний имеет больший радиус атома, а его ядро более экранировано от валентных электронов, которые поэтому, слабее удерживаются на орбиталях. В связи с этим кремний, в отличие от углерода, не образует, например, длинноцепочечных силанов (аналогов предельных углеводородов алканов). При этом связь Si–Si значительно более лабильна, и силаны легко гидролизуются водой и воспламеняются на воздухе, выделяя при этом большое количество тепла. Согласно другой точке зрения, различие свойств кремния и углерода объясняется наличием в атоме кремния вакантных 3d-орбиталей [36, 37].

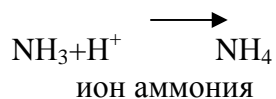
При взаимодействии с углеродом атом кремния приобретает частичный положительный заряд вследствие своей более низкой электроотрицательности. При взаимодействии кремния с галогенами, водородом, азотом и т.д. образуются очень лабильные связи, которые легко разрушаются, например, водой до Si–O. При этом если в молекуле были углеродные заместители, то происходит полимеризация с образованием полисилоксанов:



например, полидиметилсилоксан из громадного числа разнообразных соединений кремния, изучаемых органической химией. При сравнении электронного строения атомов углерода и азота видно, что в атоме азота нет вакантных орбиталей:



Рассмотрим молекулу аммиака NH_3 . Ее строение пирамидально: угол между связями N-N-N равен 108° и близок к тетраэдрическому углу связей N-C-N в метане. В отличие от атома углерода, атом азота имеет неподеленную пару электронов, которая легко взаимодействует с вакантной орбиталью, например, протона:



За счет неподеленной электронной пары атом азота вообще склонен к комплексообразованию. По сравнению с атомом углерода азот имеет большую энергию ионизации (11,3 и 14,5 эВ соответственно) и более высокую электроотрицательность (С – 2,5; N – 3,1). Радиус же атома углерода больше (С – 0,062; N – 0,052). Приведенные цифры объясняют существование различий в химических свойствах этих элементов [7].

Возвращаясь к углероду, следует отметить, что химическая активность убывает в ряду: "аморфный" углерод, графит, алмаз. Горение углерода в этом же ряду происходит при температурах 300-500; 600-700 и 850-1000°C соответственно с образованием двуокиси углерода CO_2 и окиси углерода CO . CO_2 растворяется в воде с образованием угольной кислоты. В 1906 году Дильс получил недоокись углерода C_3O_2 . Все формы углерода устойчивы к щелочам и кислотам и медленно окисляются только очень сильными окислителями (хромовая смесь, концентрированные HNO_3 , KClO_3 и т.п.).

Галогениды углерода синтезируют косвенным путем. Из оксигалогенидов углерода наиболее известна хлорокись COCl_2 (фосген). С водородом углерод реагирует при температурах от 600 до 2000 °С. При этом образуются метан CH_4 , ацетилен C_2H_2 , а также бензол C_6H_6 и другие углеводороды. При взаимодействии серы с углеродом при 700-800°C образуется CS_2 – сероуглерод. Другие сернистые соединения углерода – сероокись COS , тиоокись CS , тионеодоокись C_3S_2 , тиофосген CSCl_2 – получают косвенными методами [7, 8].

Взаимодействие углерода с азотом происходит при пропускании электрического разряда между угольными электродами в атмосфере азота. При этом образуется $(\text{CN})_2$ – циан. Среди азотсодержащих соединений большое значение имеет HCN – синильная кислота и ее многочисленные производные: цианиды, галогенцианы, нитрилы и др. Углерод при нагревании с металлами выше 1000 °С образует карбиды. Все формы углерода восстанавливают оксиды металлов до свободных металлов. Все формы углерода не растворимы в обычных растворителях, а растворяются в некоторых расплавленных металлах (Fe, Ni, Co).

Углерод возникает в процессе постоянного звездного излучения, и потому соединения водорода и углерода широко распространены в Космосе при большом диапазоне температур и гравитации. Например, метан (простейший углеводород – CH_4) широко представлен на звездах, где гравитация высока, а температура поверхности превышает тысячи градусов. Углеводороды обнаружены в атмосфере Солнца, а также на многих планетах, в том числе в условиях низкой гравитации и очень низкой (близкой к абсолютному нулю) температуры. Метан также обнаружен в космических газопылевых скоплениях, богатых цианидами и легкими углеводородами. Он входит в состав комет, формирующихся за пределами орбиты Плутона (практически в зоне межзвездной среды). Большое количество метана обнаружено в атмосферах Юпитера, Сатурна, Урана, Нептуна и их небольших спутников (например, Титана).

Углеродистые соединения содержатся и в метеоритах, которые являются одними из немногих неземных объектов, исследуемых химически и минералогически. При этом установлено большое сходство веществ метеоритов и материала, из которого образовалась Земля. Допускается, что метеориты формировались в Солнечной системе между орбитами Марса и Юпитера в зоне астероидов. Различия в составе и строении метеоритов обусловлены, очевидно, разнообразными условиями их формирования [7, 31]. Особый интерес представляют углистые хондриты – метеориты с содержанием углерода до 4,8%, имеющие связанную с минералами воду. В составе хондритов обнаружены полимеризованные органические соединения (в основном алифатические углеводороды с

линейными цепями и их сернистые и кислородные производные – органические кислоты, ароматические соединения и т.д.).

Рядом авторов допускается биогенное происхождение органического вещества на метеоритах, обусловленное остатками организмов, обитавших когда-то на этих образованиях. Другие авторы подчеркивают абиогенный характер происхождения органических веществ на метеоритах, на которых, скорее всего, только в силу отсутствия свободной воды жизнь не могла возникнуть. Многие авторы высказывают идею синтеза большого количества органических веществ в Космосе на частицах материнской космической пыли еще до образования Земли [35].

В настоящее время на Земле углерод является главной составной частью живой материи. Следует подчеркнуть, что уникальная роль углерода в живой природе обусловлена его свойствами, которыми в совокупности не обладает никакой другой элемент периодической системы [7].

Источниками оксиуглерода в сложном компосте являются выделения организмов, фотодиссоциация CO_2 , ряд фотохимических реакций в процессе развития растений и т.д. Основным источником углерода для сложного компоста является CO_2 , который генерируется в нем в основном активными организмами при дыхании (животными и микроорганизмами) и получается в процессе разложения органического вещества.

Восстановление и окисление этого элемента проходит через дыхание и фотосинтез в живых организмах и представляет собой основу существующей жизни на Земле. Именно процессы восстановления и окисления были решающими в образовании биосферы, определили важнейшие изменения в составе атмосферы и тропосферы, изменили климат и стали детерминирующим фактором в эволюции земного шара на протяжении всей его истории. Расцвет в силуре фотосинтезирующих водорослей следует считать точкой начального отсчета, когда углекислота атмосферы CO_2 после её восстановления до органического углерода начала откладываться в геологических пластах. В карбоне и перми этот процесс проходил с наибольшей интенсивностью в результате появления на суше сосудистых растений; в этот отрезок времени возникли огромные залежи органического топлива, изменился состав атмосферы, обогащенной кислородом, что обусловило дальнейшее развитие всего живого на планете [20, 23].

С карбона определилось преобладание восстановительных процессов по сравнению с процессами окисления, и деятельность человека внесла изменение в их соотношение. Чрезмерное расходование органического топлива минувших эпох усилило процессы окисления углерода и снизило интенсивность процессов его восстановления в результате загрязнения окружающей среды и экстенсивной эксплуатации растительных ресурсов. Отмечается далеко идущее вмешательство человека, ускоряющее и изменяющее направленность круговорота углерода, что приводит к глубоким изменениям во всей толще тропосферы [7, 8].

Карбонатные ионы (CO_3^{-2} , HCO_3^-) и их соединения с ионами кальция растворяет вода, и в результате углерод осаждается в виде CaCO_3 , включаясь таким образом из биологического круговорота. Исключение углерода из биологического малого круговорота обусловило формирование нефти, углей, горючих сланцев, органических веществ осадочных пород и гумуса (торф, почва). Баланс углекислоты не только поддерживается, но и наблюдается её увеличение, что способствует усилению парникового эффекта. Связывают этот феномен с потреблением органического топлива – газа, нефти, угля, а также с деградацией гумуса в связи с осушением торфяников, распашкой целинных почв, расширением орошения и аридизацией огромных территорий, обусловивших комплексность негативных условий [12].

Большие запасы углерода при смешивании различных органических отходов концентрируются в сложном компосте в органической и карбонатной формах примерно

поровну. За период формирования сложного компоста летом в течение 4-5 месяцев с осадками на его поверхность поступает до 1,5 тыс. кг углерода в расчете на 1 га, а вместе с добавками органических веществ (остатки урожая, опавшие листья и т.д.) откладывается до 2,5 тыс. кг/га. Углерод содержится в основном в гумусе, где его количество в зависимости от географической зоны разное и определяется условиями разложения органического вещества. Если условия неблагоприятны, даже при большой массе органического вещества в почве гумуса образуется мало, и он минерализуется с выделением CO_2 ; дыхание сложного компоста весьма существенное за счет бактерий, актиномицетов, грибов, почвенных беспозвоночных [3, 6, 10].

В круговороте углерода в верхнем слое почвы с участием сложного компоста принимают участие органические формы вещества и углекислый газ, составляя основные продукты дыхания и фотосинтеза. Органический углерод, ассимилированный организмами, полностью включается в различные формы углеводов, а выделяемый в процессе дыхания превращается в углекислый газ. Круговорот углерода в сложном компосте разделяется весьма условно [19, 20].

Органическое вещество в сложном компосте частично расходуется на энергетические нужды (при дыхании и минерализации органического вещества двуокись углерода вновь выделяется в атмосферу), а другая часть расходуется на продуктивность автотрофов, что составляет примерно 30-35% общей массы, участвующей в цикле углерода. Органическое вещество автотрофов используется гетеротрофами, которые в свою очередь используются другими гетеротрофами, и основная часть его расходуется на энергетические нужды, а значительное количество углекислоты возвращается в атмосферу; в гетеротрофном цикле его концентрация ничтожно мала – до 1% изначальной величины. Антропогенное влияние на круговорот углерода в сложном компосте очень велико [21, 22].

Соединения углерода в сложном компосте, подвергающиеся минерализации микроорганизмами, широко представлены за исключением гумуса (в основном целлюлоза, лигнин, высокомолекулярные углеводы и др.), а также природными и синтетическими (полиэтилен) полимерами. Микроорганизмы в сложном компосте используют простые соединения углерода различного строения: низкомолекулярные углеводороды C_2H_6 , C_2H_2 , CH_4 , CO_2 , парафины и другие, которые микроорганизмы не используют для своего развития. Все микроорганизмы в своем метаболизме используют диоксид углерода. Во всех типах сложных компостов развиваются бактерии, образующие метан (CH_4) и выполняющие важную роль в трансформации органических веществ, являясь основным звеном в их аэробном разложении и круговороте углерода [13, 15, 16, 17].

Азот и его роль в развитии ландшафтов. Среди элементов, определяющих скорость энергообмена в сложном компосте, особо выделяется азот, который весьма активно связан с живыми формами органической материи и входит в состав их белков, являясь важнейшим элементом, определяющим продуктивность агроландшафтов. Ресурсы доступных форм азота растениям весьма ограничены интенсивностью синтеза его простыми организмами – преимущественно бактериями. Возможности восстановления молекулярного атмосферного азота N_2 и скорость разложения и минерализации органического вещества обеспечивают именно бактерии [11, 14, 18].

Человек искусственно создает азотные удобрения, компенсирующие постоянный вынос азота с урожаем. Производство азотных удобрений в мире столь велико, что в количественном отношении они достигают биологического синтеза на планете. Применение высоких доз азота обусловило ряд отрицательных явлений (загрязнение грунтовых и поверхностных вод нитратами, снижение биологического синтеза азота и т.д.).

Круговорот азота в сложном компосте осуществляется только микроорганизмами, преимущественно бактериями, в основном в процессе азотфиксации, нитрификации и

денитрификации. Основную роль в поддержании азотного баланса в сложном компосте играет микробиологическая фиксация молекулярного азота, сохраняющая основное положение в агроэкосистемах с применением азотных удобрений. На биологическую роль азота в урожае сельхозкультур приходится около 2/3 от его общего содержания. Производство и потребление минеральных азотных удобрений создало широкий круг проблем, из которых выделяются две – экологическая и экономическая (энергетическая).

Экологический аспект проблемы создания и применения высоких доз азотных удобрений обусловлен физиологическими особенностями роста растений, которые не могут сразу усвоить большое количество азота и производить его накопление в запас. Например, ряд биофильных элементов (углерод, фосфор, калий, кальций и др.) в живой клетке растений в виде различных соединений запасается в резерв, но для азота такой запас в растениях не предусмотрен. Поддерживать азот в прикорневой зоне в виде частых подкормок сложно и дорого. Именно поэтому коэффициент использования азота удобрениями растениями остается низким, и основная его часть попадает в водоемы (инfiltrация) и в атмосферу (N_2), усиливает эвтрофикацию биологического и химического состояния водоёмов, усложняет проявление парникового эффекта, разрушает озоновый экран Земли [24, 25, 26].

Экономический интерес с учетом затрат на производство, транспортировку, хранение и внесение этих удобрений растет быстрее по сравнению с повышением урожаев сельскохозяйственных культур. Например, повышение урожая с 25 до 45-50 ц/га на Кубани требует повышения затрат примерно в 10 раз, из которых 45-50% идет на синтез и применение азотных удобрений. Тем не менее отложение азота непосредственно в субстрате (например, внесение в сложный компост медленно разлагающихся органических веществ) имеет пока ограниченное применение [32].

Основной интерес сегодня направлен на биологический азот – как экологически чистый путь снабжения растений этим элементом, почти исключая загрязнение окружающей среды. Фиксация азота микроорганизмами осуществляется за счет энергии солнца, что существенно сокращает энергозатраты. Роль азотфиксации в азотном балансе обеспечивается способностью к ней многих бактерий разных таксономических и физиологических групп. До недавнего времени считалось, что фиксировать молекулярный N_2 может лишь небольшое число таксонов высокоспециализированных бактерий (например, азотобактер, клубеньковые бактерии, клостридии, некоторые бациллы и т.д.).

В настоящее время известно, что азотфиксирующая способность реально выявлена практически у всех групп бактерий (автотрофов и гетеротрофов, споровых и неспоровых, почкующихся и трихомных, мицелиальных, эубактерий и архебактерий). Эти группы весьма значимо представлены в почвах и, безусловно, в хорошо сформированных сложных компостах. Именно это позволяет заключить, что в азотном балансе биосферы основная роль отводится микробной азотфиксации наземными экосистемами. Считается, что в умеренной климатической зоне за счет азотфиксации связывается около 30-50 кг N_2 на 1 га, а в тропической зоне её продуктивность доходит до 100 кг N_2 /га и больше. В связи с этим стали очевидны источники азота, определяющие азотный баланс. Биологическая продуктивность климаксных систем (тайга, луговая степь и др.) в принципе остается неизменной, хотя потери азота в результате микробиологической трансформации определяют волнообразные сдвиги [27, 28].

Биологическая трансформация азота разнообразными микроорганизмами, кроме фиксации азота, включает активно протекающий процесс соединения кислотной части серной кислоты (SO_4^{-2}) из $CaSO_4$ и аммиака (NH_3) с образованием в результате аммонификации сернокислого аммония $(NH_4)_2SO_4$. Внесение сложного компоста в почву, наряду с обогащением верхнего слоя органическим веществом, а еще и аммиаком по-

луперепревшего навоза и серноокислым кальцием минеральных отходов, усиливает процесс нитрификации. В динамике азота в сложном компосте выделяются нитрификация и денитрификация, которые осуществляются микроорганизмами [29, 30].

Денитрификация, представляет собой окисление органических соединений бактериями при использовании ими нитратов и нитритов и является одним из наиболее распространенных процессов в почве и в сложном компосте с образованием на завершающем этапе закиси и молекулярного азота N_2 . Денитрификацию осуществляет широкий круг прокариот (главным образом, бактерии и одноклеточные водоросли). Подсчеты численности бактерий показали, что примерно $\frac{3}{4}$ из них в сложном компосте являются денитрификаторами. Потери нитратного азота в виде N_2O в сложном компосте составляют в общей сложности примерно 7-8%.

Основным фондом азота для сложного компоста всегда выступает атмосфера, хотя многие из её организмов ассимилировать азот из этого источника мало способны. Большие возможности использования азотсодержащих соединений в сложном компосте осуществляются специфическими формами микроорганизмов, после чего неорганические соединения азота становятся легкодоступными для организмов. Основная масса азота в сложном компосте содержится в детрите и лишь небольшая часть в форме аммиака и нитратов концентрируется на переходных ступенях распада белковых соединений.

Круговорот азота в сложном компосте сопровождается постепенным распадом органических соединений, осуществляемых массой различных организмов (грибы, бактерии, актиномицеты, одноклеточные водоросли), с переходом органики на конечном этапе в нитратные формы. Наиболее активно организмами сложного компоста поглощается азот, содержащийся в форме аммиака NH_3 и иона аммония NH_4^+ , трансформация которых в органических соединениях проходит сравнительно короткий, но достаточно активный путь [22].

Если аммиак концентрируется в сложном компосте в большом количестве, то он не может использоваться в качестве источника снабжения растений азотом. При поливе или выпадении дождя аммиак растворяется в воде и вымывается из сложного компоста. Аммиак, фиксируемый некоторыми минералами, полностью не вымывается. Под воздействием бактерий азот аммиака окисляется до нитратов NO_3^- и нитритов NO_2^- , которые в силу их отрицательного заряда не присоединяются к гумусовому комплексу и легко вымываются, если корни растений при внесении сложного компоста в почву не успевают их ассимилировать [32, 33].

Основные запасы азота в сложном компосте заключены в основном в органическом детрите. При внесении в почву азот сложного компоста претерпевает циклическое превращение (из нитратов и нитритов в аммиак и аминокислоты и обратно). Из аммонийных солей в сложном компосте азот переходит в нитраты (нитрификация), которые хорошо используются растениями при его внесении в почву. Азотсодержащие вещества проходят разнообразные биохимические превращения в сложном компосте, что связано со способностью азота вступать в реакцию с другими соединениями [35].

Важным процессом в круговороте азота является распад органических азотсодержащих соединений в результате аммонификации и денитрификации, а также восстановления нитратов и нитритов до молекул азота (N_2) и его выходе в атмосферу (денитрификация). Важное место в круговороте азота в сложном компосте занимают биологические процессы ассимиляции атмосферного азота через его фиксацию микроорганизмами. При разложении органических соединений (аммонификация) в сложном компосте накапливаются соли аммония, а при доступе кислорода, особенно в верхних его слоях, образуется аммиак, уголекислота, метан, а также водород и вода. Круговорот азота в сложном компосте может частично прерываться живыми организмами, а другая

часть азота под действием бактерий превращается в газообразный азот с его возвращением в атмосферу. Денитрификаторы активны в сложном компосте, богатом азотом и углеродом. Процесс денитрификации в сложном компосте способствует удалению азота из круговорота в атмосферу и в процессе своей фиксации возвращается в активный фонд [8].

Роль процесса нитрификации в фиксации азота в его круговоротах и в сложном компосте весьма существенна. На интенсивность нитрификации большое влияние оказывает технология приготовления сложного компоста. Например, при периодическом перемешивании массы сложного компоста нитратного азота накапливается примерно в 1,5 раза больше, чем если смесь хранится все время в бурте. В процессе нитрификации на динамику азота оказывают влияние хлорорганические химикаты, а также нефтяные выбросы, угнетающие деятельность микрофлоры. При некоторых условиях угнетающее влияние на процессы нитрификации оказывают повышенные дозы фосфорорганических соединений. В сложном компосте процесс нитрификации является важнейшим в круговороте азота, поскольку именно он определяет скорость переходных этапов этого элемента в доступную для организмов форму, влияя тем самым на их продуктивность. Любые условия, негативно влияющие на деятельность нитрифицирующих бактерий, отрицательно сказываются на процессах нитрификации [8, 10].

Если в детрите сложного компоста содержание азота по сравнению с углеродом невелико, то бактерии используют его на построение своего тела и он оказывается связанным и недоступен для растений. На скорость разложения нитрита влияние оказывает соотношение C:N на уровне 25. Разложение нитрита идет интенсивно в силу высокой активности обильной микрофлоры. При высоком отношении C:N (свыше 25) активность микрофлоры подавлена и разложение детрита идет медленно [9].

Превращение нитратов в азот проходит ряд этапов в процессе денитрификации $\text{NO}_3 \rightarrow$ больше $\text{NO}_2 \rightarrow$ больше N_2 с выделением кислорода, который используется бактериями *Pseudomonas* при их дыхании в случае недостатка азота в сложном компосте. Образующийся азот N_2 и закись азота N_2O выходят из фонда активного круговорота азота и переходят в атмосферу. Возможен вариант денитрификации азота без участия бактерий, а только химическим путем. Процесс фиксации азота атмосферы в сложном компосте происходит при значительных затратах энергии. Например, бактерии *Azotobacter* способны ассимилировать 8 атомов азота за счет химической энергии одной молекулы глюкозы $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ при весьма низкой эффективности биохимических преобразований.

Азот в сложном компосте представлен рядом форм, которые постоянно трансформируются; встречается в основном в органической форме, в которой преобладают соединения, содержащие аминогруппу, на их долю приходится свыше 90% его общей массы. Азот не ассоциируется с глинистыми минералами. Некоторые глинистые минералы адсорбируют азот в небольших количествах в форме аммония (NH_4^+). Гумус в сложном компосте является основным хранилищем азота, а также фосфора, серы, кальция и магния; гумус содержит 45-55% углерода и около 5% азота при соотношении (C:N) примерно 12:1, а в нижней части бурта – 8-10:1 [17].

В процессе минерализации органического вещества образуется аммиак, а затем и аммоний. Нитрифицирующие бактерии преобразуют аммоний в нитраты. В процессе иммобилизации NH_4^+ и NO_3^- превращаются организмами (микроорганизмы, одноклеточные водоросли и др.) в органический азот. В процессе денитрификации значительная часть нитратов (NO_3^-) переходит в молекулярный азот (N_2) и в оксид азота (N_2O). При внесении в почву сложного компоста процессы минерализации органического вещества и трансформации азота существенно изменяются. Это хорошо прослеживается в лабораторных и полевых исследованиях при внесении сложного компоста в почву чернозема обыкновенного степной зоны края [9, 10].

При внесении сложного компоста содержание азота в слое почвы 0-20 см через 2 месяца после посева озимой пшеницы снижается на 7,2% (табл. 2) и на 5,7% повышается количество P_2O_5 . Усиление минерального компонента (фосфогипс) повышает процесс гумусонакопления, и за 2 года вегетации растений его содержание увеличилось на 0,11%; масса гумуса на контроле снизилась на 0,05% [11, 12, 13].

Таблица 2. Содержание общего азота в почве по вариантам опыта

Вариант опыта	Азот общий, мг/100 г почвы		
	Апрель	Май	Июнь
Контроль ($N_{80}P_{80}$)	11,3	11,8	10,9
$N_{80}P_{80}K_{80}$	12,8	13,7	11,3
Сложный компост	10,9	14,1	13,2

Доля гуминовых кислот в варианте со сложным компостом снижается на 7-11% и связана с их закреплением в почве в форме гумата кальция. Внесение в почву сложного компоста повышает в её верхнем слое на содержание обменного кальция 10-12%; на контроле содержание кальция, наоборот, снизилось на 8-10%. Сложный компост поддерживает уровень гумуса в почве, повышает в слое 0-20 см количество водопрочных агрегатов по сравнению с контролем: на контроле их доля составила в среднем 67,6% и снизилась на 7,2% по сравнению с началом опыта, а в варианте с NPK доля водопрочных агрегатов составила 74,8%, или на 11,6% меньше, чем в варианте со сложным компостом, где этот показатель составил 79,4%.

Сложный компост способствует при его внесении в почву усилению биологической активности субстрата: численность микроорганизмов, использующих органические формы азота, на 1 г почвы увеличилось на 9,7% и на 7,8% повысилась численность микроорганизмов, ассимилирующих минеральный азот. Корреляция между количеством микроорганизмов на питательных средах и содержанием нитратного азота высокая. Внесение сложного компоста повышает содержание актиномицетов примерно на 10,7% и целлюлозоразрушающих микроорганизмов на 16,3% (в основном за счет увеличения популяций рода *Pseudomonas*), на 8,4% увеличивается число колоний азотобактера. Сложный компост усиливает ферментативную активность почвы и благоприятствует интенсификации изменения свежего органического вещества, что весьма четко просматривается на примере разложения послеуборочных остатков стеблей кукурузы. Этот процесс мы связываем с увеличением численности микроскопических грибов, чему способствовало повышение концентрации P_2O_5 в верхнем слое почвы [26, 27, 28, 29].

Экономия расхода органического азота в сложном компосте определяется защитой и снижением скорости разложения её органического вещества. Экономия минерального азота (внесенного со сложным компостом), на наш взгляд, связана с частичным его переходом в макро- и микроагрегаты, что снижает активность окислительно-восстановительных процессов, особенно нитрификации и денитрификации микроорганизмами, и уменьшает его вынос инфильтрационным стоком, а также выделение в атмосферу молекулярного азота [11, 17, 27].

Компостирование, например, фосфогипса и органических отходов способствует диссоциации сернокислого кальция ($CaSO_4$) и взаимодействию его кислотного остатка (SO_4^{-2}) с ионом аммония с образованием сульфата аммония $(NH_4)_2SO_4$. Внесение в сложный компост фосфогипса сокращает дозу чистого азота под озимую пшеницу до 40 кг/га без ущерба для урожая и его качества.

Внесение сложного компоста в почву ускоряет и усиливает развитие корневых систем злаков и особенно у озимой пшеницы: в фазе кущения число придаточных корней у растений в варианте со сложным компостом превышало 10, а на контроле его число не превышало 7-8 штук на 1 особь. У многих растений озимой пшеницы, особенно при глубине посева 6-7 см, формируется два яруса мочковатых корней – в зоне колеоптильной почки, которые, как правило, трогаются в рост первыми, а также в зоне первой узловой почки зоны кущения, где каждая особь формирует свою зону побегообразования. В варианте без сложного компоста мочковатые корни образуются только в базальной части, начиная с первой настоящей почки [25, 27].

Внесение сложного компоста повышает долю используемых растениями кукурузы азотных удобрений на 30,1-32,2%, а также положительно влияет в целом на формирование вегетативной массы и повышает в растениях кукурузы содержание азота на 9,4% и снижает количество нитратов в зерне на 20,7%; одновременно повышается роль аммонифицирующих, нитрифицирующих и целлюлозоразрушающих микроорганизмов (табл. 3).

Таблица 3. Влияние сложного компоста на численность трофических групп почвенных микроорганизмов

Вариант	Амилотические, кл/г x 10 ⁶	Аммонифицирующие, кл/г x 10 ⁶	Коэффициент минерализации	Нитрифицирующие, титр	Уровень потенциальной активности микрофлоры, %		Олиготрофные, КОЕ/г x 10 ⁵
					азотфиксирующей	целлюлозоразрушающей	
Контроль	115	105	0,9	10 ⁻⁵	62	61	21
НРК	154	80	1,2	10 ⁻⁵	74	82	30
НРК +сложный компост	110	70	0,6	10 ⁻⁴	82	93	18

Определение в почве различных трофических групп микроорганизмов показало, что внесение в почву сложного компоста способствовало изменению активности нитрифицирующих, аммонифицирующих и аминокислототрофных групп, а также микромицетов (табл. 4).

Некоторое снижение численности аминокислототрофных и нитрифицирующих групп при добавлении в почву сложного компоста мы рассматриваем как следствие замедления процессов аммонификации и нитрификации за счет более эффективного использования азота микроорганизмами и растениями и снижения активности денитрифицирующей группы.

Таблица 4. Влияние сложного компоста на численность основных функциональных групп почвенных микроорганизмов (вегетационный опыт)

Вариант опыта	Аммонифицирующие, КОЕx10 ⁶	Аминокислототрофные, КОЕ x10 ⁶	Нитрифицирующие, КОЕx10 ⁶	Олиготрофные, КОЕ x10 ⁶	Микромицеты, КОЕ x10 ⁴
Контроль, почва	185	194	157	73	2
Почва + сложный компост	228	205	128	81	6

Влияние сложного компоста на активность процесса денитрификации весьма заметно проявилось в полевом опыте в колхозе «Заветы Ильича» Ленинградского района в 2005-2007 гг. (табл. 5).

Таблица 5. Активность денитрификации азота по вариантам опыта

Вариант	Уровень разбавления		
	2005 г.	2006 г.	2007 г.
Залежь	10^{-2}	10^{-2}	10^{-2}
Технология обычная	$10^{-5}-10^{-6}$	10^{-6}	10^{-5}
Сложный компост	$10^{-3}-10^{-4}$	10^{-3}	10^{-3}

Полученные данные показывают, что внесение сложного компоста заметно сдерживает развитие процессов денитрификации азота и по сравнению с обычной технологией сокращает его потери примерно в 1,3-1,5 раза. Такие исследования представляются важными с практической точки зрения. При реальном снижении потерь азота из почвы всего на 10% за счет внесения сложного компоста легко представить себе экологический и экономический эффект от внедрения такой технологии.

При внесении сложного компоста происходит консервация азота в аммонийной форме, снижаются его потери, вызываемые денитрификацией и вымыванием нитратов. Пшеница использует аммиачную и нитратную формы азота; её молодые растения интенсивнее поглощают NH_4^+ , а в более поздней фазе активно используется NO_3^- . Сложный компост улучшает условия питания растений азотом вследствие снижения непродуцируемых его потерь, способствует сопряженному поступлению в растения азота и фосфора. При формировании большого количества листьев содержание аммонийного азота в растениях уменьшается, а нитратного – повышается в связи с усилением активности нитрифицирующих бактерий.

Во влажный период влияние сложного компоста гораздо эффективнее, чем в засушливый, в связи с замедлением процессов нитрификации при засухе, когда азот остается закрепленным в органическом веществе. Пониженная температура весной сдерживает процессы нитрификации и денитрификации азота в почве, что снижает его потери. В течение первого месяца вегетации растения интенсивно используют азот удобрений и меньше – азот почвы; в дальнейшем, наоборот, усваивается больше азота почвы и меньше сложного компоста, а спустя 1,5-2,0 месяца после появления всходов азота удобрений в почве практически не обнаруживается; до конца вегетации растения преимущественно используют азот почвы и его содержание в растении повышается [17].

Для снижения количества нитратов в корнях и в зерне необходимо использовать аммонийный азот, что уменьшает вероятность накопления этой формы азота в продукции. Применение сложного компоста сдерживает процессы нитрификации и денитрификации и способствует экономному расходованию почвенного азота. Сложный компост снижает, таким образом, долю почвенных нитратов, уменьшает потребление азота удобрений и опасность накопления нитратов в растениеводческой продукции, что естественно, сокращает загрязнение окружающей среды нитратами. Сложный компост при его внесении в почву оптимизирует баланс питания растений микро- и макроэлементами [30, 34].

На основании проведенных исследований можно заключить, что внесение сложного компоста существенно влияет на динамику азота в почве, содержание которого на ранних этапах развития озимой пшеницы снижается, а с переходом растений в фазу кущения усиливается в связи с активизацией процессов минерализации органического вещества и повышением в почве доли аммиачного азота; в генеративной фазе растения в основном используют нитратный азот.

В варианте со сложным компостом коэффициент минерализации органического вещества и нитрификация азота уменьшаются, но существенно повышаются уровень азотфиксации и активность целлюлозоразрушающих микроорганизмов. Внесение сложного компоста в почву на фоне полного минерального удобрения стабилизирует в ней процессы аммонификации и нитрификации, что благоприятствует их более эффективному использованию растениями.

К вопросу о процессе нитрификации в агроландшафтах степной зоны Краснодарского края. Растениям недоступен большой запас газообразного азота, находящегося в воздухе, а из соединений азота, встречающихся в почве, они используют для питания в основном минеральные формы этого элемента.

Несмотря на систематическое применение азотных удобрений, проблема азотного питания сельскохозяйственных культур на Кубани является весьма острой. Многие удобрения используются растениями неэффективно вследствие значительных их потерь (30-40%). Основные потери азота удобрений из почвы происходят через нитратную форму и в виде газообразных продуктов, образуемых в процессе биологической и химической денитрификации (рис. 1). Обыкновенный чернозем обладают благоприятными свойствами для протекания процесса нитрификации. При больших нагрузках на агроландшафты и неэффективном использовании азотных удобрений в почвах усиливаются процессы минерализации гумуса, активны потери почвенного азота с выносом урожая и в связи с этим ухудшаются агрохимические свойства почв и активизируется их деградация. Вопросы динамики азота в агроландшафтах степной зоны края изучаются через процессы трансформации соединений и поиск путей управления данными процессами. Предварительные результаты исследований И.С. Белюченко, Г.В. Волошиной, А.Г. Фалина и А.И. Стешенко позволяют коротко обобщить вопросы нитрификации азота в степной зоне края [8].

Основная часть процессов, за счет которых осуществляется миграция соединений азота в природе, протекает при участии микроорганизмов (рис. 2).

Растения используют азот из минеральных форм, органических веществ, включая гумус, и после разложения органики микроорганизмами, а также за счет бактерий-азотфиксаторов, связывающих молекулярный азот, поступающий в корни в форме аминокислот и аммония, из минеральных и органических удобрений, вносимых до 30% связанного азота. При ассоциативной азотфиксации азот накапливается микроорганизмами вместе с растениями и водорослями, эффект в таких ассоциациях связан с поступлением к бактериям от фотоавтотрофов доступных источников углерода и энергии в форме экссудатов листьев и корней, внеклеточных слизей цианобактерий, а также растительного опада. Ассоциативная азотфиксация составляет примерно до 25 кг N₂ в год на 1 га в средней полосе и до 100 кг – в тропической зоне.

Симбиотическая ассоциация представляет важный резерв биологического азота в почве. Микробные симбионты проникают в ткани растений, образуя опухолевидные разрастания в форме клубеньков в основном на корнях. Наиболее распространено у бобовых растений, общее число видов которых составляет 1900, в сельском хозяйстве используется до 200 видов. Симбиотическая азотфиксация составляет в год до 300 кг/га. Используются клубеньковые бактерии также для обработки семян. В России выпускается промышленностью препарат ризоторфин – торфяной нитрагин, который используется для предпосевной обработки семян бобовых, в 1 г препарата содержится до 200 млн клеток бактерий, на 1 га необходимо 200 г ризоторфина.

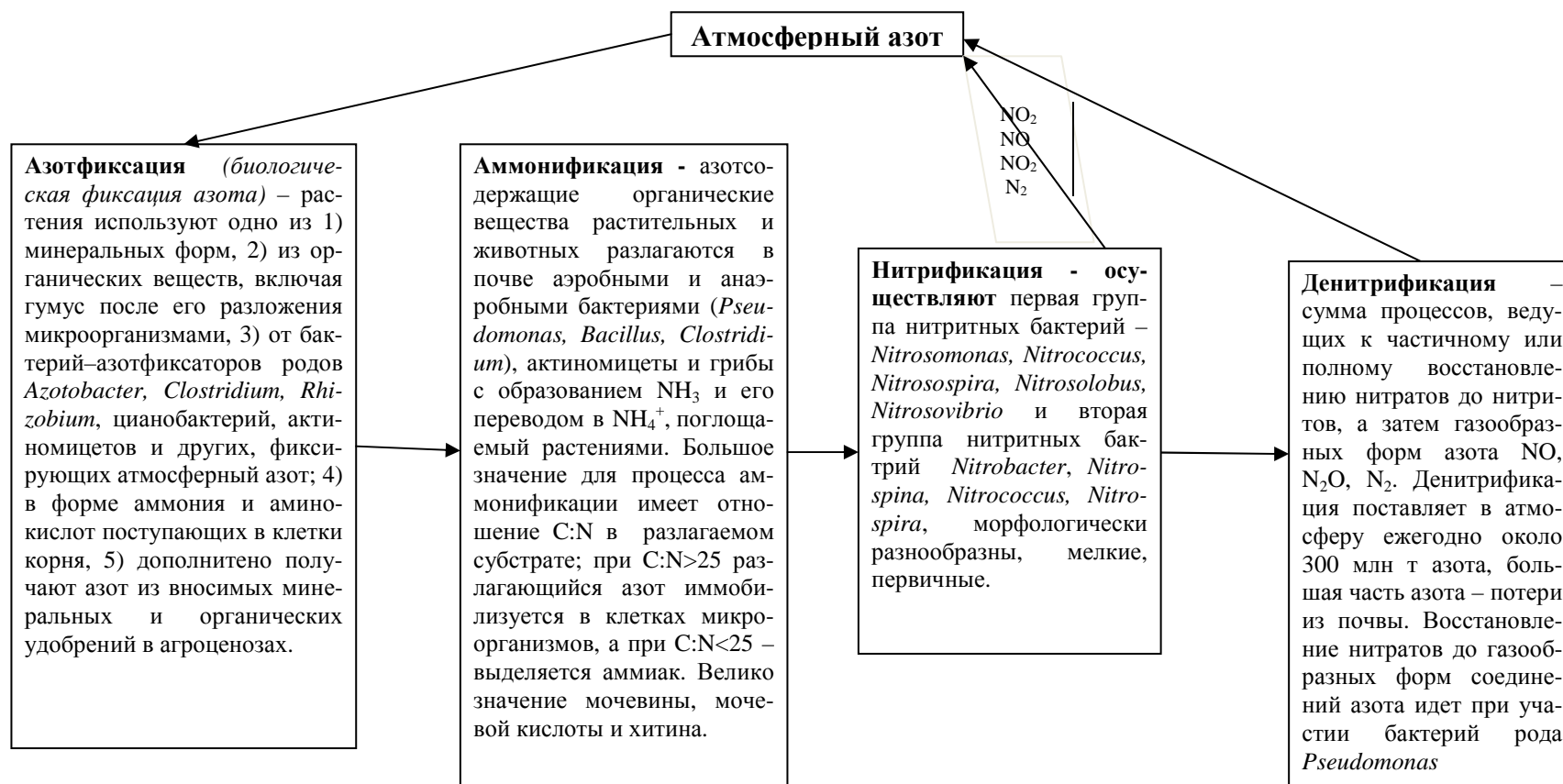


Рис. 1. Круговорот азота в природе



Рис. 2. Примерное распределение в почве основных групп внесенных удобрений

В черноземной почве азота содержится в до 10 т/га, из которых до 99% находится в соединении с органическими веществами и недоступно для растений. Минерализация азотсодержащих органических веществ (белки и их производные: пептиды, аминокислоты, нуклеиновые кислоты и их дериваты – мочевины и мочевая кислота, пуриновые и пиримидиновые основания, гумусовые кислоты, азотсодержащий полисахарид хитин) с выделением аммиака (NH_3) называется аммонификацией. Аммонификация имеет универсальный характер и осуществляется многими микроорганизмами в весьма различных условиях.

Аммонификация белков является наиболее активным звеном в трансформации азота. Конечным продуктом внеклеточных превращений белков с участием различных протеаз бактерий и грибов являются аминокислоты. В процессе аммонификации участвуют также актиномицеты и грибы. Для процесса аммонификации очень важно соотношение С:N в разлагаемом субстрате: чем оно меньше, тем выше эффект аммонификации, оцениваемый по доле NH_3 от количества превращенного азота. На 100 г разложенного органического вещества бактерии используют на синтез белка 4 г азота (С:N = 25:1). Если в органическом веществе содержание азота меньше 4%, азот будет использован в клетках микроорганизмов, при его высоком содержании (С:N<25) будет выделяться аммиак (NH_3), что наиболее ярко проявляется при использовании разных органических удобрений. Если С:N в навозе низкое, то разложение навоза сопровождается накоплением аммиака. При внесении соломы С:N высокое, и потому её внесение в почву без минеральных азотных удобрений ведет к иммобилизации азота и его закреплению в микробных клетках и азотному голоданию растений.

Аммонификация нуклеиновых кислот способствует выделению аммиака при распаде пуриновых оснований, входящих в состав нуклеиновых кислот. Аммонификация мочевины и мочевой кислоты, попадающих в почву с мочой млекопитающих осуществляется почвенными грибами. На Земле в год образуется до 30 млн тонн мочевины, которая содержит 47% азота. Она представляет конечный продукт белкового обмена птиц, пресмыкающихся, насекомых. Аммонификация хитина – азотсодержащего полисахарида, полимера ацетилглюкозамина, входящего в состав клеточных стенок грибов, панцирных покровов беспозвоночных [8, 9].

Нитрификация осуществляется микроорганизмами–нитрификаторами, представленными двумя группами, каждая из которых проводит один из двух этапов окисления – сначала нитриты, затем нитраты. Первая группа нитритных бактерий представлена родами *Nitrosomonas*, *Nitrococcus*, *Nitrosospira*, *Nitrosolobus*, *Nitrosovibrio*; вторая группа – нитратные бактерии – *Nitrobacter*, *Nitrospina*, *Nitrococcus*. Бактерии обеих групп морфологически весьма разнообразны и представлены кокками, палочками, спирально изогнутыми клетками, все они грамотрицательные в основном мелкие и подвижные за счет жгутиков. Нитрифицирующие бактерии – облигатные анаэробы с условиями роста 25-30°C и pH– 7,5-8,0 (явление гетеротрофной нитрификации).

Гетеротрофная нитрификация происходит везде, где аммиак формируется в условиях обилия органических веществ (компостные кучи, аэротенки, эвтрофных водоемах). Автотрофная нитрификация, очевидно, уступает гетеротрофной. В виде нитратов растения используют до 30-45% вносимого азота, остальная часть закрепляется в составе органического и минерального вещества почвы, иммобилизуется в клетках микроорганизмов, восстанавливается до газообразных продуктов – закиси азота и N_2 , вымывается в грунтовые воды, а оттуда идёт в реки и моря (миллионы тонн в год). Проблема нитрификации – её подавление; предложены промышленные препараты ингибиторов нитрификации, синтезируемые на пиридиновой основе, что существенно (до 50-70%) повышает использование азотных удобрений. Препараты не действуют на гетеротрофную нитрификацию, а подавляют первую фазу автотрофной нитрификации. Использование сложного компоста существенно влияет на начало автотрофной нитрификации, сохраняя органическое вещество до 30% и экономя расход нитратов до 25%, что сказывается в целом на сохранение углеродно-азотного баланса в верхнем слое почвы [7, 21].

Денитрификация охватывает в основном диссимиляционное восстановление окисленных форм азота и представляет собой процесс, обеспечивающий микроорганизмы энергией с потерей восстановленных соединений азота. Этот процесс протекает в анаэробных условиях и подавляется кислородом, функцию электронов в анаэробных условиях выполняют нитраты. Продукты денитрификации выделяются из клетки в газообразной форме в виде NO, N_2O , N_2 и зависят от вида микроорганизма и условий среды.

Денитрификация широко распространена в природе. В атмосферу ежегодно уходит около 300 млн тонн N_2 , что сопоставимо с азотфиксацией. Именно денитрификация является одной из причин неполного использования вносимых в почву азотных удобрений. Денитрификация положительно сказывается на очистке сточных вод, содержащих большое количество связанного азота, которое не должно попасть в реки. Иными словами, для природы денитрификация – оздоровительный процесс, поскольку предохраняет грунтовые воды и водоемы от чрезмерного накопления в них нитратов, вымываемых из почв. Восстановление нитратов до аммония – более важный процесс, чем образование N_2 и N_2O . Наша задача – раскрыть механизмы природных процессов и научиться их регулировать [7, 12].

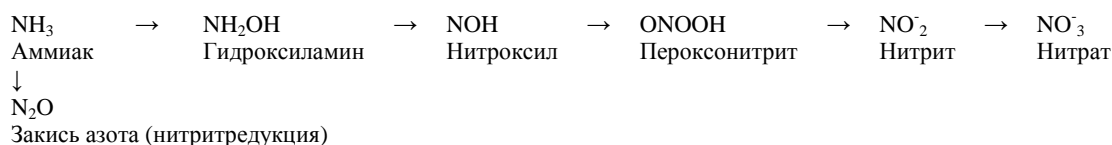
Основное количество (до 90%) всей фиксации молекулярного азота атмосферы осуществляется в процессе метаболической активности микроорганизмов. Организмами, способными его осуществлять, являются прокариоты (эубактерии и архебактерии). Микроорганизмы частью самостоятельно, а частью в симбиозе с высшими растениями превращают молекулярный азот в органические соединения. Содержащиеся в тканях животных и растений органические соединения, попадая в почву, подвергаются минерализации с образованием аммиака (аммонификация), осуществляемой обширными группами аэробных и анаэробных микроорганизмов: бактерий, актиномицетов, одноклеточных водорослей и плесневых грибов. Выделяющийся таким образом аммиак,

формирующий соединения с органическими и минеральными кислотами и в форме NH_4^+ поглощается почвенными частицами.

Образовавшийся в процессе разложения органических веществ (полуперепревший навоз, ОСВ и др.) аммиак быстро окисляется до азотистой (первая стадия нитрификации), а затем до азотной кислот (вторая стадия нитрификации); процесс носит биологический характер. Первая стадия осуществляется в основном бактериями рода *Nitrosomonas*, а вторая – рода *Nitrobacter*. Нитрификаторы являются бактериями, использующими энергию окисления аммиака или азотистой кислоты для синтеза органических веществ из CO_2 . В качестве источников азота данные бактерии используют аммоний, а другие виды ассимилируют также нитриты и нитраты [7, 22, 25].

Автотрофные нитрифицирующие бактерии весьма чувствительны к присутствию в среде легкоокисляемых органических веществ и способны развиваться только там, где они содержатся в небольших количествах. Нитрификаторы – облигатные анаэробы. Оптимальная температура для роста большинства нитрифицирующих бактерий составляет 25-30°C; pH среды для нитрификаторов пригодны в пределах 6,0-8,6 (оптимальное значение 7,5-8,0).

Нитрификация осуществляется на цитоплазматических и внутрицитоплазматических мембранах, проходит в несколько этапов и отражается в виде следующей схемы:



К нитрификации способны не только хемолитоавтотрофные бактерии, использующие энергию окисления аммиака, как считали раньше. Такое свойство проявляют и некоторые типичные гетеротрофные бактерии из родов *Arthrobacter*, *Nocardia*, *Pseudomonas* и др. и актиномицеты (*Streptomyces*). Известны грибы из родов *Fusarium*, *Aspergillus*, *Cladosporium* и др., осуществляющие нитрификацию в присутствии органических веществ. Наряду с аммонием данные микроорганизмы могут окислять ряд азотсодержащих органических веществ, образуя при этом гидроксиламин, нитриты, нитраты, гидроксамовые кислоты, оксиды, закись азота и другие продукты. В отличие от нитрификации, осуществляемой хемолитоавтотрофными бактериями, гетеротрофная нитрификация не обеспечивает микроорганизмы энергией. Какое значение имеет для них такой процесс, остается пока не выясненным [7].

В почве совершается ряд процессов, в результате которых окисленные формы азота (нитраты и нитриты) восстанавливаются до оксидов азота (N_2O , NO , NO_2) или молекулярного азота N_2 , что ведет к существенным потерям почвенного азота. Восстановление нитратов и нитритов до газообразных азотных соединений происходит в результате прямой (биологическое восстановление) и косвенной (химическое восстановление) денитрификации. В процессе биологической денитрификации нитраты используются как окислители органических веществ (вместо молекулярного кислорода), обеспечивая микроорганизмы необходимой энергией. Денитрификация осуществляется микроорганизмами в переувлажненных и уплотненных почвах при анаэробных условиях и ингибируется кислородом воздуха: первый этап процесса – восстановление нитратов в нитриты – протекает при участии разнообразных микроорганизмов (прокариоты и эукариоты – водоросли, грибы, дрожжи). Восстановление нитратов до газообразных продуктов (NO_2 , NO , N_2O , N_2) осуществляется только прокариотами [29].

Долгое время считали, что деятельность нитрифицирующих микроорганизмов способствует повышению плодородия почв, поскольку они переводят аммоний в нитраты, которые хорошо усваиваются растениями; в результате деятельности нитрификаторов происходит подкисление среды, повышающее растворимость некоторых минералов, содержащих элементы (магний, фосфор и др.), необходимые растениям.

Последние взгляды на нитрификацию азота изменились, поскольку плодородие почв обеспечивается наличием в них солей аммония, которые меньше, чем нитраты, растворяются и лучше задерживаются в почве. Образование нитратов стимулирует денитрификацию, и содержание в почвах азота снижается, поскольку этот процесс ведет к образованию летучих продуктов. Некоторые нитрифицирующие бактерии сами образуют N_2O , особенно при низком давлении молекулярного кислорода.

В аминокислотах и белках азот находится в восстановленной форме (NH_2 - или NH -группы), и нитратные формы азота в растениях восстанавливаются раньше, чем они используются при наличии энергии на построение аминокислот и белков, а аммоний используется непосредственно. Таким образом, в энергетическом отношении поглощение растениями азота в аммонийной форме является более выгодным. Повышение концентрации нитратов в воде, вследствие вымывания их из почвы в силу хорошей растворимости данных соединений, делает их непригодными для питья и может вызывать эвтрофикацию водоемов.

Высокое содержание нитратов в почве при положительных условиях ведёт к аккумуляции в различных видах растений, а затем по пищевым цепям переходит в молоко и мясо животных, что делает их опасными, поскольку в организме животных и человека нитраты способны восстанавливаться до нитритов, приводящих к образованию метгемоглобина и превращаться в нитрозамины – сильные канцерогенные соединения. Прикладные исследования по нитрификации направлены на получение максимального эффекта от внесения азотных удобрений при минимальном накоплении подвижных форм азота в почве, растениях и вообще в окружающей среде.

Первые работы по изучению торможения процесса нитрификации с помощью отдельных химических соединений были выполнены ещё в прошлом веке. Большое внимание этой проблеме уделяется в Великобритании, Индии, Германии, США, Японии. Наиболее широко распространенным способом замедления интенсивности процесса нитрификации является применение химически синтезируемых ингибиторов (препараты, которые при внесении в небольших количествах подавляют жизнедеятельность нитрифицирующих организмов, осуществляющих первый этап нитрификации).

Поиск путей и разработка практических способов снижения потерь и повышения эффективности применения азотных удобрений привлекает большое внимание к изучению процессов трансформации азота в почве в случае применения сложных компостов.

Велико влияние углерода и азота на вещественный обмен в экосистемах. Процессы восстановления и окисления углерода (дыхание и фотосинтез) являются основой современной жизни на Земле, они были решающими в образовании биосферы и привели к величайшим изменениям в составе атмосферы и тропосферы, что привело к изменению климата, и стали детерминирующим фактором эволюции земного мира на протяжении всей его истории. Появление скорее всего фотосинтезирующих сине-зеленых водорослей в силуре следует считать начальным отсчетом, когда углекислота атмосферы (CO_2) после её восстановления до органического углерода начала откладываться в геологических пластах. В карбоне и пермском периодах этот процесс проходил с наибольшей интенсивностью в результате широкого появления на суше сосудистых растений; в этот период времени возникли огромные залежи органического топлива, произошло изменение состава атмосферы, обогатившее её кислородом, обусловило дальнейшее эволюционное развитие всего живого на планете.

С карбона и до наших дней установилось подавляющее превосходство восстановительных процессов по сравнению с процессами окисления, хотя деятельность человека внесла определенное изменение в их соотношение. Чрезмерное расходование органического топлива, накопленного за минувшие экологические эпохи, обусловило усиление процессов окисления углерода и постоянное снижение интенсивности процессов восстановления углерода в результате загрязнения окружающей среды и экстенсивной эксплуатации растительных ресурсов (в первую очередь леса). Иными словами, наблюдается далеко идущее вмешательство человека, ускоряющего и изменяющего направленность круговорота углерода, что, без сомнения, приведет к глубоким изменениям во всей толще тропосферы (Whittaker, Likens, 1975).

Круговорот азота и углерода. Соотношение углерода и азота (C:N) в земледелии в 19 веке составляло 16, что вполне устраивало эволюционно физиологическую потребность в белке организмы животных и человека. За последнее столетие в 20 веке урожаи растений повысились примерно в 4 раза, что связано с изменением соотношения C:N примерно до 30 и даже больше, что вызвало диетические проблемы у человека и создало нехватку белков.

Иными словами, круговорот углерода и азота в атмосфере тесно связан с экологическими интересами человека, который хоть и зависит от природных ресурсов этих веществ, но, без сомнения, нарушает их естественный круговорот. Углерод является важным носителем энергии среди основных форм органического вещества. Именно его количество и степень восстановления определяют энергетическую ценность материала. Соотношение азота и углерода в органическом веществе отражает в нем молекулярный состав. Знание элементного состава, особенно соотношения углерода и азота, с давних пор использовалось специалистами для характеристики биологической активности почв, где соотношение C:N является одним из параметров при их классификации. В гидробиологии отношение C:N:P применяется при характеристике гидробионтов и ресурсов водной среды.

Взаимоотношения на уровне элементного состава органического вещества в сложном компосте позволяют восстановить их приблизительный материальный состав и энергетическую ценность. Отклонения в соотношении отдельных элементов содержат в себе информацию о биологических последствиях происшедших изменений в процессе формирования сложного компоста. Большой прогресс в аналитических методах (например, инструментальных исследованиях элементного состава биологического материала) позволяет получить больше данных относительно соотношения углерода и азота на разных этапах формирования сложного компоста. Оба элемента имеют универсальный характер для оценки весьма разнородных биологических материалов (растения, животные, почва, донные отложения, навоз, куриный помет, детрит, осадки сточных вод и т.д.). Именно почвенные микроорганизм-гетеротрофы в сложном компосте завершают круговорот азота и углерода и других элементов. Наиболее заметна роль микроорганизмов в цикле углерода, которую показывает баланс CO_2 , а в цикле азота – балансы N_2 , NO , NO_2 .

Одной из первоначальных задач кафедры общей биологии и экологии Кубанского госагроуниверситета является изучение различных веществ естественного происхождения в качестве ингибиторов процесса нитрификации через подготовку сложных компостов с применением веществ органического и минерального происхождения, включаемых в состав и вносимых на срок на 5-6 лет.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алифиров М.Д., Белюченко И.С., Волошина Г.В., Гукалов В.Н., Гукалов В.В., Кобецкая О.А., Мельник О.А., Фалин А.Г. Влияние посевов и органических удобрений на трансформацию азота в черноземе выщелоченном // Тр. / КубГАУ, – 2007. – № 9. – С. 79-85.
2. Белюченко И.С. Введение в общую экологию. – Краснодар, 1997. – 544 с.
3. Белюченко И.С., Щербина В.Г., Щербина Ю.Г. Рекреационная трансформация лавровишневых сообществ на Кавказе // Экологические проблемы Кубани. – 1999. – № 4. – С. 22-152.
4. Белюченко И.С. Эволюционная экология. – Краснодар, 2001. – 505 с.
5. Белюченко И.С., Перебора Е.А., Гукалов В.Н. Физико-географическая характеристика Ленинградского района // Экологические проблемы Кубани. – 2002. – № 16. – С. 5-186.
6. Белюченко И.С. К вопросу о специфичности речной гидрологии Краснодарского края // Экологические проблемы Кубани. – 2004. – № 26. – С. 5-9.
7. Белюченко И.С., Бозина Т.В. Углерод и его роль в развитии биосферы Земли// Эколог. Вестник Север. Кавказа. – 2006. – Т. 2. – № 2. – С. 46-50.
8. 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. – 2007. – № 32. – С. 218-222.
9. Белюченко И.С. Влияние фосфогипса на трансформацию азота в черноземе обыкновенном степной зоны Кубани // Эколог. Вестник Сев. Кавказа. . – 2008. – Т. 4. – № 2. – С. 144-147.
10. Белюченко И.С., Щербина В.Г. Влияние рекреационных нагрузок на содержание почвенного гумуса // Тр. / КубГАУ. – 2008. – № 10. – С. 93-96.
11. Белюченко И.С. Использование фосфогипса для рекультивации чернозема обыкновенного в степной зоне Кубани // В сб. Конференции: Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства. Краснодар, 2009. – С. 54-59.
12. Белюченко И.С. Проблемы рекультивации отходов быта и производства (по материалам I Всероссийской научной конференции по проблемам рекультивации отходов) // Эколог. Вестник Север. Кавказа. – 2009. – Т. 5. – № 3. – С. 72-78.
13. Белюченко И.С. Экология Краснодарского края (региональная экология). Учебное пособие / Краснодар, 2010. – 356 с.
14. Белюченко И.С. Добрыднев Е.П., Муравьев Е.И. Экологические особенности фосфогипса и целесообразность его использования в сельском хозяйстве. // В сб. Конференции: «Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства». Краснодар, 2010. – С. 13-22.
15. Белюченко И.С. Роль регионального мониторинга в управлении природно-хозяйственными системами края // Эколог. Вестник Север. Кавказа. – 2010. – Т. 6. – № 4. – С. 3-16.
16. Белюченко И.С. Введение в экологический мониторинг // Краснодар, 2011. – 297 с.
17. Белюченко И.С. К вопросу о формировании и свойствах органоминеральных компостов и реакции растений кукурузы на их внесение // Эколог. Вестник Сев. Кавказа. . – 2011. – Т. 7. – № 4. – С. 65-74.
18. Белюченко И.С. Экологические проблемы степной зоны Кубани, причины их возникновения и пути решения // Эколог. Вестник Сев. Кавказа. – 2011. – Т. 7. – № 3. – С. 47-64.

19. Белюченко И.С., Гукалов В.Н. Практические основы использования отходов промышленности и сельского хозяйства в качестве мелиоранта чернозема обыкновенного // Тр. / КубГАУ. – 2011. – Т. 1. – № 31. – С. 152-153.
20. Белюченко И.С. Использование отходов быта и производства для создания сложных компостов с целью повышения плодородия почв // Тр. / КубГАУ. – 2012. – Т. 1. – № 38. – С. 68-72.
21. Белюченко И.С. К вопросу о механизмах управления развитием сложных компостов // Эколог. Вестник Сев. Кавказа. . – 2012. – Т. 8. – № 3. – С. 88-111.
22. Белюченко И.С. Применение органических и минеральных отходов для подготовки сложных компостов с целью повышения плодородия почв // Тр. / КубГАУ. – 2012. – Т. 1. – № 39. – С. 63-68.
23. Белюченко И.С. Сложный компост и его роль в улучшении почв // Эколог. Вестник Сев. Кавказа.. – 2012. – Т. 8. – № 2. – С. 75-86.
24. Белюченко И.С., Бережная В.П. Влияние осадков сточных вод на плодородие почвы, развитие озимой пшеницы и качество ее зерна // Тр. / КубГАУ. – 2012. – Т. 1. – № 34. – С. 148-150.
25. Белюченко И.С. Применение органических и минеральных отходов при подготовке сложных компостов для повышения плодородия почв // В сб.: Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства (с участием экологов Азербайджана, Беларуси, Германии, Грузии, Казахстана, России, Узбекистана и Украины). Краснодар, 2013. – С. 26-30.
26. Белюченко И.С. Агрегатный состав сложных компостов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета = Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University. 2013. – Т. 93. – № 93 (03). – С. 812-830.
27. Белюченко И.С. Коллоидные системы отходов разных производств и их роль в формировании сложного компоста // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета = Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University. 2013. – Т. 93. – № 93 (03). – С. 787-811.
28. Белюченко И.С. Дисперсность отходов и их свойства // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета = Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University. 2013. – Т. 92. – № 92 (02). – С. 221-230.
29. Белюченко И.С. Дисперсные и коллоидные системы отходов и их коагуляционные свойства // Эколог. Вестник Север. Кавказа. – 2013. – Т. 9. – № 1. – С. 13-38.
30. Белюченко И.С. Сложные компосты как источник расширения экологических ниш культурных растений в системе почвенного покрова // В сб.: «Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства. Краснодар, 2013. – С. 12-14.
31. Вернадский В.И. Химическое строение биосферы Земли и её окружения. М.: Наука, 1965. – 375 с.
32. Муравьев Е.И., Белюченко И.С. Влияние отходов химического производства на загрязнение окружающих ландшафтов // Эколог. Вестник Сев. Кавказа. – 2007. – Т. 4. – № 1. – С. 107-111.
33. Муравьев Е.И., Белюченко И.С. Коллоидный состав и коагуляционные свойства дисперсных систем почвы и некоторых отходов промышленности и животноводства // Тр. / КубГАУ, 2008. – № 11. – С. 177-182.
34. Муравьев Е.И., Белюченко И.С., Гукалов В.В., Гукалов В.Н., Мельник О.А., Петух Ю.Ю., Славгородская Д.А. Влияние фосфогипса на развитие и продуктивность

- растений кукурузы в севообороте // Эколог. Вестник Сев. Кавказа. – 2008. – Т. 4. – № 4. – С. 107-111.
35. Опарин А.И. Возникновение жизни на Земле. М.: Изд-во АН СССР, 1957. 458 с.
36. Сорохтин О.Г., Ушаков С.А. Глобальная эволюция Земли. М.: Изд-во МГУ, 1991. – 446 с.
37. Ферсман А.Е. Геохимия. Л., 1934. – Т. 2. – 352 с.
38. Ферсман А.Е. Геохимия. Л., 1937. – Т. 3. – 503 с.

References

1. Alifirov M.D., Beljuchenko I.S., Voloshina G.V., Gukalov V.N., Gukalov V.V., Koberckaja O.A., Mel'nik O.A., Falin A.G. Vlijanie posevov i organicheskikh udobre-nij na transformaciju azota v chernozeme vyshhelochennom // Tr. / KubGAU, – 2007. – № 9. – S. 79-85.
2. Beljuchenko I.S. Vvedenie v obshhujuju jekologiju. – Krasnodar, 1997. – 544 s.
3. Beljuchenko I.S., Shherbina V.G., Shherbina Ju.G. Rekreacionnaja transformacija lavrovishnevyyh soobshhestv na Kavkaze // Jekologicheskie problemy Kubani. – 1999. – № 4. – S. 22-152.
4. Beljuchenko I.S. Jevoljucionnaja jekologija. – Krasnodar, 2001. – 505 s.
5. Beljuchenko I.S., Perebora E.A., Gukalov V.N. Fiziko-geograficheskaja karakteristika Leningradskogo rajona // Jekologicheskie problemy Kubani. – 2002. – № 16. – S. 5-186.
6. Beljuchenko I.S. K voprosu o specifichnosti rechnoj gidrologii Krasnodarskogo kraja // Jekologicheskie problemy Kubani. – 2004. – № 26. – S. 5-9.
7. Beljuchenko I.S., Bozina T.V. Uglerod i ego rol' v razvitii biosfery Zemli // Jekolog. Vestnik Sever. Kavkaza. – 2006. – Т. 2. – № 2. – S. 46-50.
8. 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. – 2007. – № 32. – S. 218-222.
9. Beljuchenko I.S. Vlijanie fosfogipsa na transformaciju azota v chernozeme obyknovennom stepnoj zony Kubani // Jekolog. Vestnik Sev. Kavkaza. . – 2008. – Т. 4. – № 2. – S. 144-147.
10. Beljuchenko I.S., Shherbina V.G. Vlijanie rekreacionnyh nagruzok na sodержание pochvennogo gumusa // Tr. / KubGAU. – 2008. – № 10. – S. 93-96.
11. Beljuchenko I.S. Ispol'zovanie fosfogipsa dlja rekul'tivacii chernozema obyknovennogo v stepnoj zone Kubani // V sb. Konferencii: Problemy rekul'tivacii othodov byta, promyshlennogo i sel'skohoz'jajstvennogo proizvodstva. Krasnodar, 2009. – S. 54-59.
12. Beljuchenko I.S. Problemy rekul'tivacii othodov byta i proizvodstva (po materialam I Vserossijskoj nauchnoj konferencii po problemam rekul'tivacii othodov) // Jekolog. Vestnik Sever. Kavkaza. – 2009. – Т. 5. – № 3. – S. 72-78.
13. Beljuchenko I.S. Jekologija Krasnodarskogo kraja (regional'naja jekologija). Uchebnoe posobie / Krasnodar, 2010. – 356 s.
14. Beljuchenko I.S. Dobrydnev E.P., Murav'ev E.I. Jekologicheskie osobennosti fosfogipsa i celesoobraznost' ego ispol'zovanija v sel'skom hoz'jajstve. // V sb. Konferencii: «Problemy rekul'tivacii othodov byta, promyshlennogo i sel'skoho-z'jajstvennogo proizvodstva». Krasnodar, 2010. – S. 13-22.
15. Beljuchenko I.S. Rol' regional'nogo monitoringa v upravlenii prirodno-hoz'jajstvennymi sistemami kraja // Jekolog. Vestnik Sever. Kavkaza. – 2010. – Т. 6. – № 4. – S. 3-16.
16. Beljuchenko I.S. Vvedenie v jekologicheskij monitoring // Krasnodar, 2011. – 297 s.

17. Beljuchenko I.S. K voprosu o formirovanii i svojstvah organomineral'nyh kom-postov i reakcii rastenij kukuruzy na ih vnesenie // Jekolog. Vestnik Sev. Kavkaza. . – 2011. – T. 7. – № 4. – S. 65-74.
18. Beljuchenko I.S. Jekologicheskie problemy stepnoj zony Kubani, prichiny ih voz-niknovenija i puti reshenija // Jekolog. Vestnik Sev. Kavkaza. – 2011. – T. 7. – № 3. – S. 47-64.
19. Beljuchenko I.S., Gukalov V.N. Prakticheskie osnovy ispol'zovanija othodov pro-myshlennosti i sel'skogo hozjajstva v kachestve melioranta chernozema obyknoven-nogo // Tr. / KubGAU. – 2011. – T. 1. – № 31. – S. 152-153.
20. Beljuchenko I.S. Ispol'zovanie othodov byta i proizvodstva dlja sozdaniya slozh-nyh kompostov s cel'ju povyshenija plodorodija pochv // Tr. / KubGAU. – 2012. – T. 1. – № 38.– S. 68-72.
21. Beljuchenko I.S. K voprosu o mehanizmah upravlenija razvitiem slozhnyh kompo-stov // Jekolog. Vestnik Sev. Kavkaza. . – 2012. – T. 8. – № 3. – S. 88-111.
22. Beljuchenko I.S. Primenenie organicheskikh i mineral'nyh othodov dlja podgo-tovki slozhnyh kompostov s cel'ju povyshenija plodorodija pochv // Tr. / KubGAU. – 2012. – T. 1. – № 39. – S. 63-68.
23. Beljuchenko I.S. Slozhnyj kompost i ego rol' v uluchshenii pochv // Jekolog. Vestnik Sev. Kavkaza.. – 2012. – T. 8. – № 2. – S. 75-86.
24. Beljuchenko I.S., Berezhnaja V.P. Vlijanie osadkov stochnyh vod na plodorodie poch-vy, razvitie ozimoj pshenicy i kachestvo ee zerna // Tr. / KubGAU. – 2012. – T. 1. – № 34. – S. 148-150.
25. Beljuchenko I.S. Primenenie organicheskikh i mineral'nyh othodov pri podgo-tovke slozhnyh kompostov dlja povyshenija plodorodija pochv // V sb.: Problemy rekul'tivacii othodov byta, promyshlennogo i sel'skohozjajstvennogo proizvodstva (s uchastiem jekol-ogov Azerbajdzhana, Belarusi, Germanii, Gruzii, Kazahstana, Rossii, Uzbekistana i Ukrainy). Krasnodar, 2013. – S. 26-30.
26. Beljuchenko I.S. Agregatnyj sostav slozhnyh kompostov // Politematicheskij sete-voj jel-ektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University. 2013. – T. 93. – № 93 (03). – S. 812-830.
27. Beljuchenko I.S. Kolloidnye sistemy othodov raznyh proizvodstv i ih rol' v formirovanii slozhnogo komposta // Politematicheskij setевой jelektronnyj nau-chnyj zhurnal Ku-banskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Polythematic online scientific jour-nal of Kuban State Agrarian University. 2013. – T. 93. – № 93 (03). – S. 787-811.
28. Beljuchenko I.S. Dispersnost' othodov i ih svojstva // Politematicheskij setевой jel-ektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universi-teta = Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University. 2013. – T. 92. – № 92 (02). – S. 221-230.
29. Beljuchenko I.S. Dispersnye i kolloidnye sistemy othodov i ih koaguljacionnye svojstva // Jekolog. Vestnik Sever. Kavkaza. – 2013. – T. 9. – № 1. – S. 13-38.
30. Beljuchenko I.S. Slozhnye komposty kak istochnik rasshirenija jekologicheskikh nish kul'turnyh rastenij v sisteme pochvennogo pokrova // V sb.: «Problemy rekul'ti-vacii othodov byta, promyshlennogo i sel'skohozjajstvennogo proizvodstva. Krasnodar, 2013. – S. 12-14.
31. Vernadskij V.I. Himicheskoe stroenie biosfery Zemli i ejo okruzenija. M.: Nau-ka, 1965. – 375 s.
32. Murav'ev E.I., Beljuchenko I.S. Vlijanie othodov himicheskogo proizvodstva na zagrjaznenie okruzhajushhih landshaftov // // Jekolog. Vestnik Sev. Kavkaza. – 2007. – T. 4. – № 1. – S. 107-111.

33. Murav'ev E.I., Beljuchenko I.S. Kolloidnyj sostav i koaguljacionnye svojstva dispersnyh sistem pochvy i nekotoryh othodov promyshlennosti i zhivotnovodstva // Tr. / KubGAU, 2008. – № 11. – S. 177-182.
34. Murav'ev E.I., Beljuchenko I.S., Gukalov V.V., Gukalov V.N., Mel'nik O.A., Petuh Ju.Ju., Slavgorodskaja D.A. Vlijanie fosfogipsa na razvitie i produktivnost' rastenij kuku-ruzy v sevooborote // Jekolog. Vestnik Sev. Kavkaza. – 2008. – T. 4. – № 4. – S. 107-111.
35. Oparin A.I. Vozniknovenie zhizni na Zemli. M.: Izd-vo AN SSSR, 1957. 458 s.
36. Sorohtin O.G., Ushakov S.A. Global'naja jevoljucija Zemli. M.: Izd-vo MGU, 1991. – 446 s.
37. Fersman A.E. Geohimija. L., 1934. – T. 2 . – 352 s.
38. Fersman A.E. Geohimija. L., 1937. – T. 3 . – 503 s.