

УДК 631.484

ОСОБЕННОСТИ ТРАНСФОРМАЦИИ РАСТИТЕЛЬНОГО ВЕЩЕСТВА СТЕПНЫХ ЭКОСИСТЕМ

Лисецкий Ф.Н.

*Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
Белгород, e-mail: liset@bsu.edu.ru*

Представлены результаты изучения в природных условиях процесса трансформации органического вещества, которое поступает с доминирующими видами растений степных экосистем. Показаны различия основных видов степных растений по интенсивности трансформации их структурных частей. С помощью уравнения экспоненциального вида установлено, что процесс полного корневого обмена в гумусово-аккумулятивном горизонте почв южной степи длится до 5–7 лет. Ежегодно в гумусово-аккумулятивном горизонте почв в законченный цикл трансформации вовлечено 4 т/га корневой массы, что обеспечивает ежегодное поступление 0,9 т/га гумуса. В условиях целины за счет корневого отпада поступает в 2,5 раза больше растительного вещества, чем в результате поверхностного опада. Расчетная величина полного обновления гумуса в слое почвы 0–20 см оценивается в 110 лет.

Ключевые слова: степные экосистемы, растительные остатки, трансформация опада, корнеобмен

THE FEATURES OF TRANSFORMATION OF VEGETABLE MATTER OF STEPPE ECOSYSTEMS

Lisetskii F.N.

Belgorod State National Research University, Belgorod, e-mail: liset@bsu.edu.ru

This article shows the results of the study of the natural conditions of the process of organic matter transformation that comes with the dominant species of plants of steppe ecosystems. Distinctions of the main species of steppe plants on the intensity of the transformation of their structural parts were shown. The process of full root of exchange in humus-accumulative horizon of the soils of southern steppe lasts up to 5–7 years. Annually in humus-accumulative horizon of the soil full of transformation is subject to 4 t/ha root mass, which provides an annual inflow of 0,9 t/ha humus. In the conditions of the virgin lands at the expense of the root of attrition comes in 2,5 times more vegetable matter compared with the surface leaf fall. The estimated value of a full upgrade of the humus in the soil layer 0–20 cm is estimated in 110 years.

Keywords: steppe ecosystems, vegetation residues, the transformation of the litter, roots exchange

Степная травянистая растительность в течение всего голоцена была ведущим фактором перманентного процесса преобразования органических остатков в почвенный гумус и формирования гумусового профиля. Этот процесс на протяжении начальных 3000 лет почвообразования характеризуется неослабевающей интенсивностью [4], а характерное время развития гумусового горизонта южных черноземов оценивается в 6–7 тыс. лет. Вместе с тем последние 3,5 тыс. лет были более благоприятны для развития степных экосистем, что подтверждает вся голоценовая история их развития [11].

Степные экосистемы характеризуются особой вертикальной структурой распределения растительного вещества. В природном ландшафте типчаково-ковыльной степи максимальный запас растительного вещества, отмечаемый во внутригодовой динамике, достигает 26 т/га, из которых 78% приходится на подземные органы. Зеленая фитомасса разнотравно-ковыльной ассоциации, хотя и распространяется в надземном ярусе до 1 м, но 88% ее сосредоточено в фитогоризонте 0–30 см. Максимальный прирост фитомассы отмечен в июне (для типчака) – 2,7–3 т/га и в конце лета (для ковы-

ля) – до 4,5 т/га, а в конце осени – интенсивный переход в ветошь, когда ее масса достигает 6 т/га. Мортмасса, потерявшая связь с растением, – подстилка к концу лета формирует геогоризонт с максимальной мощностью до 3 см, влагоемкость которого составляет 330–355%.

Корни злаков-доминантов (ковыля, типчака) распространяются до глубины 1,2–1,3 м. В ковыльно-типчаковой ассоциации верхний горизонт почвы (0–20 см) содержит 48,6% массы корней метровой слоя [3].

Процессы деструкции опада протекают с различной скоростью в различных ландшафтных зонах и в зависимости от конкретных условий микроклимата, увлажнения, аэрации и биохимической активности. Трансформация органических остатков – это процесс, складывающийся из ряда физических, химических, фотохимических и, конечно, в основном биохимических реакций [8]. Процессы превращения свежего органического вещества локализуются главным образом на поверхности почвы и в зоне ризосферы. В случае поверхностной локализации разлагающихся растительных остатков гумусовые кислоты и частично фульвокислоты осаждаются и закрепляются в 10–20-сантиметровом

слое почвы под подстилкой, а при внутрипочвенной локализации – непосредственно под той толщей, где протекает гумификация растительных остатков [2]. Превращение растительного опада – многоступенчатый биологический процесс, при котором происходит не только разложение, но и синтез сложных органических соединений [1]. Поэтому процесс минерализации неотделим от процесса гумификации.

Материалы и методы исследования

Район исследования входит в состав степной зоны Причерноморья (южно-степной (сухостепной) подтип ландшафта). Для него характерны широко флуктуирующие условия увлажнения (суммы осадков в отдельные годы могут различаться до 2,5–3,4 раз). Оба участка, где проводили полевые опыты, расположены в пределах геоботанического округа ксерофитно-разнотравно-типчаково-ковыльных степей на черноземах южных солонцеватых и темно-каштановых почвах. Различия в антропогенных воздействиях на растительность определяются тем, что на участке 1 экосистема испытывала умеренную пастбищную нагрузку, а на участке 2 иногда отмечали влияние пирогенного фактора. В работе основное внимание уделено видам растений, доминирующим в степях зонального облика: ковылю волосатику (тырсе) (*Stipa capillata* L.), овсянице валисской (типчаку) (*Festuca valesiaca* Gaud.), полыни австрийской (*Artemisia austriaca* Jack.) и таврической (*Artemisia taurica* Wind.). Ранее полученные данные [5, 9] дополнены результатами экспериментов последующих лет.

В почвенных образцах гумус определяли по Тюрину, поглощенные кальций и магний – трилонометрическим методом, натрий и калий – вытеснением хлористым аммонием с последующим использованием пламенно-фотометрического метода, определение углекислоты проведено кальциметром.

Ключевой участок 1 в геоморфологическом отношении – это слабонаклоненный уступ балочного склона (Н абс. – 19 м). Почва – чернозем южный малогумусный слабосмытый песчано-тяжелосуглинистый (мощность горизонта А составляет 10 см, гумусового – 33 см, вскипание от 10%-го раствора HCl отмечено с 16 см, сумма поглощенных оснований в гор. А составляет 24,9 ммоль/дм³/100 г, содержание гумуса и карбонатов в слое 0–20 см – 2,8 и 4,0% соответственно, соотношение C:N равно 9). За многолетний период наблюдений средняя величина прихода растительного вещества с опадом составила 0,7 т/га в год, а с опадом корней (в слое 0–20 см) – 6,5 т/га [10].

Участок 2 в рельефе представляет собой бровку правого склона речной долины (Н абс. – 56 м). Почва – черноземная супесчаная слабосмытая (мощность горизонта А составляет 26 см, гумусового – 60 см, в слоях 10–12 и 24–26 см содержание гумуса составляет 4,0 и 2,3%, соотношение C:N – 13 и 9, сумма поглощенных оснований – 24,1 и 12,4 ммоль/дм³/100 г соответственно, карбонаты появляются во втором слое (12,2%).

За период наблюдений среднесезонная величина прихода растительного вещества с опадом составила 2,6 т/га, с опадом корней (в слое 0–20 см) – 3,9 т/га [5].

Процесс разложения поверхностных остатков изучали по убыли массы образцов, помещенных в мешочки из капроновой сетки с размером ячеей 1,4 мм. Почвенные монолиты для отмывки корней в сите с размером ячеей 0,25 мм отбирали в период максимального накопления подземной массы по-слойно в 3–4-кратной повторности. После кратковременной отмывки от частиц почвы неизмельченные корни, которые взвешивали в абсолютно сухом состоянии по 400 мг, помещали в мешочки из стеклоткани. У типчака диаметр живых корней варьируется от 0,05 до 0,5 мм, т.е. от корневых волосков до мельчайших корней, но в опытах преобладали корни диаметром 0,15–0,25 мм. Процесс трансформации корней проходил в ризосфере разнотравно-ковыльно-типчаковой ассоциации (участок 1) и разнотравно-типчаковой ассоциации (участок 2). В первом опыте пробы с корнями помещали в слое почвы 8–10 см, во втором опыте – на трех глубинах профиля: 10–12, 24–26 и 55–57 см. Время экспонирования растительных остатков на дневной поверхности и нахождения в почвенной толще измеряли в сутках. Интенсивность трансформации корней в отдельных слоях почвы оценивали по убыли массы образцов, отобранных для каждого срока в 3-кратной повторности и высушенных до абсолютно сухого состояния.

Результаты исследования и их обсуждение

В степных условиях воздействие абиотических факторов на трансформацию растительного вещества является доминирующим, но напряженность и ритмика микробиологических процессов также во многом обусловлена гидротермическими условиями. Из-за высокой внутригодовой вариабельности микроклимата в верхних слоях почвы здесь происходит более активная трансформация органического вещества, чем в глубоких слоях почвы.

Опыт на участке 1. Метеорологические условия в период проведения основного опыта были близки к климатической норме и благоприятствовали реализации интенсивности биохимических реакций, свойственных южно-степным экосистемам. За первый год опыта, который был заложен в сентябре, общая сумма выпавших атмосферных осадков составила 510 мм (+9 мм от нормы за соответствующий период) при средней температуре воздуха 10,7°C (+0,4°C от нормы). За два года опыта общая сумма выпавших атмосферных осадков составила 820 мм (+18 мм от нормы за соответствующий период) при средней температуре воздуха 10,8°C (+0,97°C от нормы). Результаты опыта показали, что при значительной сезонной вариабельности влажности почвы (от 10 до 24,6%) и запасов влаги (рис. 1, слой 0–20 см) интенсивность трансформации общей массы корней типчака за

один год составила 50,8%, а за два года – 59,8%. Корни, которые подвергались биохимической трансформации, впоследствии разлагаются медленно. В специальном опы-

те при разделении корней на деятельные ($N = 1,45\%$) и недейательные ($N = 0,84\%$) за 1 год их интенсивность разложения составила 52,3 и 36,6% соответственно.

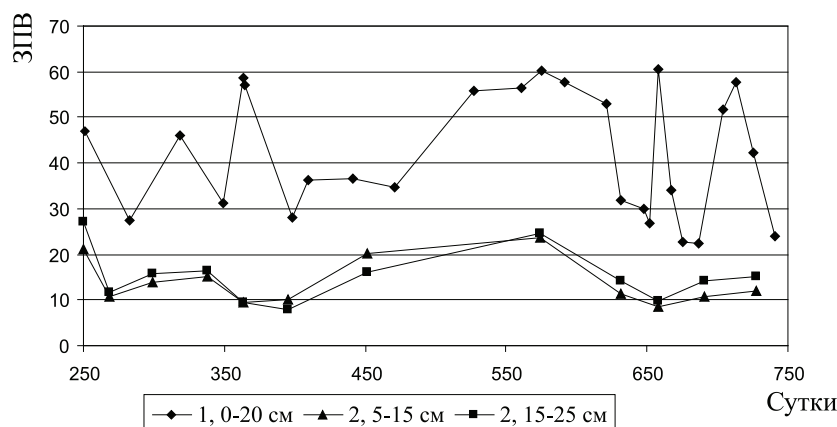


Рис. 1. Динамика запасов почвенной влаги (ЗПВ, мм) в слое 0–20 см (опыт на участке 1) и 5–15, 15–25 см (опыт на участке 2)

Опыт на участке 2. За первый год опыта, который был заложен в конце августа, общая сумма выпавших атмосферных осадков составила 572 мм (+108 мм от нормы за соответствующий период) при средней температуре воздуха 13,9 °C (+3,3 °C от нормы). За два года опыта общая сумма выпавших атмосферных осадков составила 925 мм (+68 мм от нормы за соответствующий период) при средней температуре воздуха 10,2 °C (+3,7 °C от нормы).

За 1-й год разложения верхний слой почвы (5–15 см) весной и летом был более иссушен, чем нижележащие слои почвы, а осенью в такой же мере был более увлажнен. По результатам определений за 208 и 365 суток в слое 10–12 см осталось в 1,6 раз меньше корней типчака, чем в слое 24–26 см (рис. 2). На второй год четко проявилась тенденция к уменьшению разницы в степени трансформации корней на глубине 10–12 и 24–26 см (от 10% через 1 год к 3,2% через 2 года). В нижней части гуму-

сового горизонта (55–57 см) процесс обновления корней протекает менее интенсивно.

Почва в опыте на участке 2 была значительно суше, чем на участке 1 (см. рис. 1), несмотря на более благоприятные, чем обычно, климатические условия. За время наблюдения запас почвенной влаги в слое почвы 0–20 см на участке 1 был почти в 3 раза больше, чем в слое почвы 5–25 см на участке 2. Очевидно, этим можно объяснить то, что за два года корни типчака в черноземной супесчаной почве ($h = 10$ см) разложились на 6% меньше, чем в черноземе южном. Тем не менее за три года степень трансформации корней типчака в опыте на участке 2 достигла 83%. Недостаток почвенной влаги подавляет жизнедеятельность микроорганизмов, минерализующих растительные остатки, но при этом биохимический процесс сдвигается в сторону гумификации, о чем может свидетельствовать и более высокая гумусированность почвы на участке 2 по сравнению с почвой на участке 1 (на 1,2%).

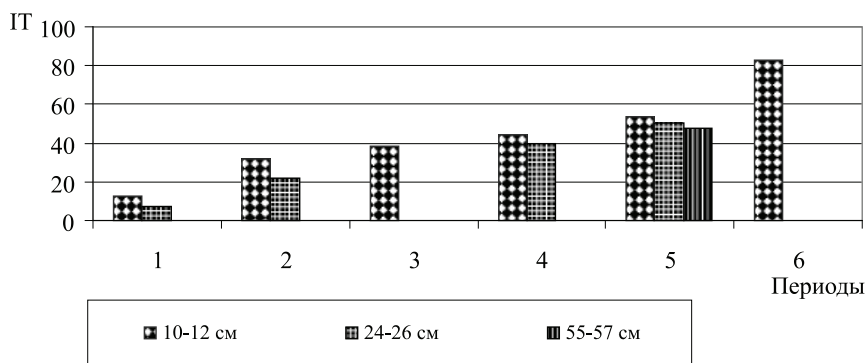


Рис. 2. Динамика интенсивности трансформации корней типчака (ИТ, % к исходной массе) в отдельных почвенных слоях (опыт на участке 2). Периоды разложения: 1 – 203; 2 – 335; 3 – 423; 4 – 546; 5 – 700; 6 – 1065 суток

За 6 месяцев (декабрь-май) пребывания на дневной поверхности ветоши, отобранной в разнотравно-ковыльно-типчачковой ассоциации в начале ноября, степень ее трансформации составила 32,3%, а подстилки – 25,7%. За 1 год (с конца сентября) ветоши типчака (при участии ковыля) разложилось 39,5%, листьев и стеблей полыни австрийской – 53,7%, а ее листьев – 62,2%.

В специальном опыте, по результатам которого сравнивали интенсивность трансформации отдельных частей основных доминантов сухой степи (типчака, ковыля и полыней австрийской и таврической), установлено, что в слое подстилки наиболее интенсивно разлагается зеленая фитомасса у полыни австрийской, затем у типчака, ковыля и полыни таврической (от 67 до 42% в первый год). Максимальные потери ветоши за такой же период выявлены для полыни австрийской, менее интенсивно разлагается ветошь ковыля и типчака. Если за первый год корни разлагаются у типчака на 60%, то у полыни – на 52%, а у ковыля – на 42%. Через два года убыль массы корней ковыля достигает 54–57%.

В многолетних полевых опытах, когда образцы находятся в ризосфере, достоверность результатов резко снижается, так как не представляется возможным вычлнить массу корней, проникавших в мешочки и уже отмерших в прежние годы. Поэтому для оценки темпов трансформации корней за период свыше трех лет оправдано применение расчетных методов.

Убыль разложившихся растительных остатков во времени предложено [7] описать уравнением вида:

$$H_t = H_0 \cdot e^{-\beta \cdot t},$$

где H_0 и H_t – содержание неразложившегося органического материала в начальный момент и при измерении; β – кинетическая константа, отражающая долю ежегодно разлагающегося материала. Заметим, что уравнение экспоненциального вида применимо для описания процессов в таких системах, где развитие происходит при внешних и внутренних условиях, которые постоянны или меняются в пределах изменчивости флуктуационной природы. Время, которое требуется для практически полной трансформации растительного вещества в указанных условиях (примем, что это убыль 95% начальной массы), можно рассчитать по соотношению:

$$t_i = \frac{\alpha - \ln(100 - IT)}{\beta},$$

где t_i – период трансформации, годы; IT – интенсивность трансформации раститель-

ных остатков, % к исходной массе; α , β – эмпирические коэффициенты.

Используя выражение (2), оценим время, необходимое для разложения корней в почве участка 2 на 95% (t_i): в слое 10–12 см (при $\alpha = 4,9$; $\beta = -0,66$) это 5 лет, а в слое 24–26 см (при $\alpha = 4,78$; $\beta = -0,46$) – 7 лет.

За пятилетний период общая масса разложившихся корней (с учетом погодичной динамики их трансформации) в гумусово-аккумулятивном горизонте почвы (0–20 см) составляет 20,7 т/га, т.е. в среднем минерализуется по 4,1 т/га в год. Это обеспечивает ежегодное поступление гумуса в количестве 0,87 т/га, что в 2,5 раза превышает его приход за счет поверхностного опада. Следовательно, в данных условиях полное обновление гумуса в слое почвы 0–20 см происходит за 110 лет.

Из-за того, что целинные почвы отличаются сухостью, значительной плотностью сложения и подавленностью микробиологических процессов, трансформация корней растягивается на годы и, как следствие, происходит аккумуляция корневой массы и гумуса.

Интенсивность трансформации растительных остатков в первые 6 месяцев опыта тесно связана с соотношением С:N в растительном веществе: быстрее разлагаются те части растений, которые имеют узкое соотношение С:N. Используя опытные данные [6], нами получена аналитическая зависимость (рис. 3), с помощью которой можно объяснить, почему по сравнению с листьями и стеблями менее интенсивно разлагаются корни, у которых обычно шире соотношение С:N (свыше 90). Однако через год и более такая зависимость не обнаруживается, так как С:N уже характеризует не только содержание углерода и азота в частично разложившейся растительной массе, но и в заселивших ее организмах.

В результате наших опытов замечено, что увеличение длительности трансформации корневой массы типчака приводит к уменьшению в ней содержания азота и через 2 года его становится на 0,22% меньше, чем это было первоначально. В почвенном профиле более разложившиеся корни в верхних горизонтах обеднены азотом, но обогащены фосфором и калием по сравнению с корневой массой в более глубоких горизонтах.

Выводы

1. Различия основных видов растений степных экосистем по интенсивности годовой трансформации их структурных частей можно представить в виде ранжированных

рядов (в скобках указано содержание азота (%) до начала процесса разложения):

- зеленая фитомасса: полынь австрийская (2,13) > типчак (1,51) > ковыль (0,90) > полынь таврическая (2,13);
- ветошь: полынь австрийская (1,00) > ковыль (0,62) > типчак (0,89);
- корни: типчак (0,90) > полынь австрийская (0,84) > ковыль (0,50).

В целом эти особенности связаны с различиями соотношения C:N в отдельных частях растений.

2. Время, необходимое для разложения 95 % массы корней в слое 10–12 и 24–26 см, составляет 5 и 7 лет соответственно.

3. Ежегодно в гумусово-аккумулятивном горизонте почв степной зоны полной трансформации подвержено 4 т/га корневой массы, что обеспечивает ежегодное поступление 0,9 т/га гумуса. Расчетная величина полного обновления гумуса в слое почвы 0–20 см оценивается в 110 лет.

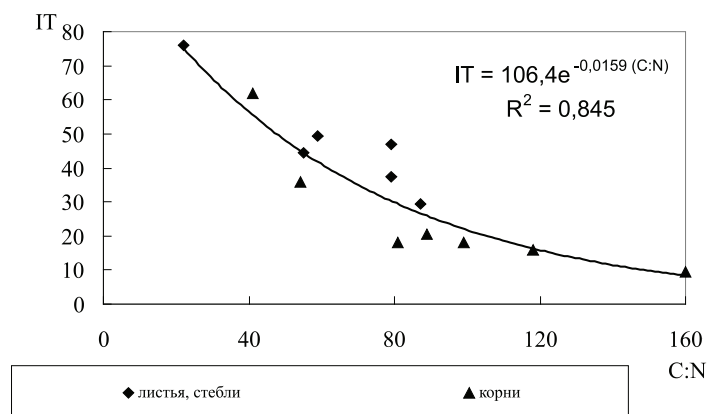


Рис. 3. Зависимость интенсивности трансформации растительных остатков (IT, % к исходной массе) от соотношения C:N в различных частях растений

Список литературы

1. Аристовская Т.В. Микробиология процессов почвообразования. – Л.: Наука. – 1980. – 187 с.
2. Дергачева М.И. Органическое вещество почвы: статика и динамика (на примере Западной Сибири). – Новосибирск: Наука, 1984. – 152 с.
3. Кулаков Е.В. Закономерности распределения органических остатков в целинных и старопахотных почвах // Доклады ТСХА. – 1959. – Вып. 42. – С. 101–107.
4. Лисецкий Ф.Н. Направленность почвообразовательного процесса в голоцене (опыт моделирования) // Агрохімія і ґрунтознавство. – Киев: Урожай. – 1994. – Вып. 57. – С. 29–35.
5. Лисецкий Ф.Н. Периодизация антропогенно обусловленной эволюции степных экосистем // Экология. – 1992. – №5. – С. 17–25.
6. Мирошниченко Е.Д. К вопросу о разложении растительных остатков на лугах // Ботанический журнал. – 1973. – Т. 58. – №3. – С. 402–412.
7. Фокин А.Д. Динамическая характеристика гумусового профиля почвы // Известия ТСХА. – 1975. – Вып. 4. – С. 80–88.
8. Элементарные почвообразовательные процессы. – М.: Наука, 1992. – 184 с.
9. Lisetskii F.N. Evaluation of changes in humus formation conditions in Holocene steppe ecosystems of Prichernomor'e // Soviet Journal of Ecology. – 1988. – Vol. 18. – №3. – P. 134–139.
10. Lisetskii F.N. Interannual variation in productivity of steppe pastures as related to climatic changes // Russian Journal of Ecology. – 2007. – Vol. 38. – №5. – P. 311–316.
11. Lisetskii F.N., Chernyavskikh V.I., Degtyar' O.V. Pastures in the zone of temperate climate: trends for development, dynamics, ecological fundamentals of rational use // Pastures: Dynamics, Economics and Management. Ed. by N.T. Procházka. Nova Science Publishers, Inc., 2011. – P. 51–83.

References

1. Aristovskaya T.V. *Mikrobiologiya protsessov pochvoobrazovaniya* [Microbiology of soil-forming processes]. Leningrad, Nauka, 1980. 187 p.
2. Dergacheva M.I. *Organicheskoe veshchestvo pochvy: statika i dinamika (na primere Zapadnoi Sibiri)* [Soil organic matter: statics and dynamics (on the example of West Siberia)]. Novosibirsk, Nauka, 1984. 152 p.
3. Kulakov E.V. *Doklady TSKhA*, 1959, no 42, pp. 101–107.
4. Lisetskii F.N. *Agrokhim. Pochvoved.*, 1994, no. 57, pp. 29–35.
5. Lisetskii F.N. *Soviet Journal of Ecology*, 1992, Vol. 23, no 5, pp. 281–287.
6. Miroshnichenko E.D. *Botanicheskii zhurnal*, 1973, Vol. 58, no. 3, pp. 402–412.
7. Fokin A.D. *Izvestiya TSKhA*, 1975, no 4, pp. 80–88.
8. *Elementarnye pochvoobrazovatel'nye protsessy* [Elementary soil formation processes]. Moscow, Nauka, 1992. 184 p.
9. Lisetskii F.N. *Soviet Journal of Ecology*, 1988, Vol. 18, no 3, pp. 134–139.
10. Lisetskii F.N. *Russian Journal of Ecology*, 2007, Vol. 38, no 5, pp. 311–316.
11. Lisetskii F.N., Chernyavskikh V.I., Degtyar' O.V. *Pastures in the zone of temperate climate: trends for development, dynamics, ecological fundamentals of rational use*: Pastures: Dynamics, Economics and Management. Ed. by N.T. Procházka. Nova Science Publishers, Inc., 2011, pp. 51–83.

Рецензенты:

Тохтарь В.К., д.б.н., профессор, директор Ботанического сада Белгородского государственного университета, г. Белгород;
 Смирнова Л.Г., д.б.н., профессор, зав. лабораторией Белгородского НИИ сельского хозяйства (Россельхозакадемия), г. Белгород.
 Работа поступила в редакцию 16.01.2012.