

ТРАНСФОРМАЦИЯ АЗОТСОДЕРЖАЩИХ СОЕДИНЕНИЙ ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО В УСЛОВИЯХ МИНИМИЗАЦИИ ОБРАБОТКИ

E.N. Belousova, A.A. Belousov

TRANSFORMATION OF NITROGEN-CONTAINING LEACHED CHERNOZYOM COMPOUNDS IN THE CONDITIONS OF PROCESSING MINIMIZATION

Белоусова Е.Н. – канд. биол. наук, доц. каф. почвоведения и агрохимии Красноярского государственного аграрного университета, г. Красноярск. E-mail: svobodalist571301858@mail.ru

Белоусов А.А. – канд. биол. наук, доц. каф. почвоведения и агрохимии Красноярского государственного аграрного университета, г. Красноярск. E-mail: svoboda57130@mail.ru

Belousova E.N. – Cand. Biol. Sci., Assoc. Prof., Chair of Soil Science and Agrochemistry, Krasnoyarsk State Agricultural University, Krasnoyarsk. E-mail: svobodalist571301858@mail.ru

Belousov A.A. – Cand. Biol. Sci., Assoc. Prof., Chair of Soil Science and Agrochemistry, Krasnoyarsk State Agricultural University, Krasnoyarsk. E-mail: svoboda57130@mail.ru

Исследования осуществлялись в условиях производственного опыта, заложенного в СПК «Шилинское» в Красноярской лесостепи, расположенной в пределах Чулымо-Енисейского денудационного плато юго-западной окраины Средней Сибири (56°37'с.ш. и 93°12'в.д.). Рассмотрены результаты наблюдений влияния способов основной обработки на превращение гидролизуемых, минеральных соединений азота чернозема выщелоченного. Динамика трансформации азотсодержащих органических соединений в почве на различных фонах основной обработки имеет принципиальные различия. Превращение азота трудногидролизующих соединений указывает на слабое гидролитическое расщепление органического вещества. Максимумы трудногидролизующей фракции приходятся на разные сроки и определяются способом основной обработки почвы. Ход распределения легкогидролизующих азотсодержащих органических соединений почвы свидетельствовал о низкой потребности в удобрениях. Выявлен значимый вклад в изменчивость гидролизуемых форм азота фактора «обработки», обуславливающего различную интенсивность их минерализации. Изменения в содержании минеральных форм азота обусловлены глубиной обработки почвы и локализацией фитомассы полевых культур в верхней части пахотного слоя. Фактора, достоверно определяющего колеблемость мине-

ральных форм азота, не выявлено. Почвозащитная технология обработки почвы обуславливает смещение активности минерализации азота на более поздние сроки в сравнении с пахотным вариантом.

Ключевые слова: трудно- и легкогидролизующий, минеральный азот почвы, минимальная обработка.

The researches were carried out in the conditions of know-how experiment in APC "Shilinskoye" in Krasnoyarsk forest-steppe located within Chulyum-Yenisei denudation plateau of the southwest suburb of Central Siberia (56°37' north latitude and 93°12' east longitude). The results of supervision of influence of ways of the main processing on transformation of the hydrolyzed, mineral compounds of nitrogen of the chernozym lixivious were considered. The dynamics of transformation of nitrogen-containing organic compounds in the soil on various backgrounds of the main processing had basic distinctions. The transformation of nitrogen of hardly hydrolyzed connections indicated weak hydrolytic splitting of organic substance. The Maximum of hardly hydrolyzed fraction fall on different terms and were defined by the way of the main processing of the soil. The course of distribution of easily hydrolyzed nitrogen-containing organic compounds of the soil testified to low need for fertilizers. Significant contribution to variability of the hydrolyzed forms of nitrogen of the factor of

"processing" causing various intensity of their mineralization was revealed. The changes in the maintenance of mineral forms of nitrogen were caused by depth of processing of the soil and the localization of phytomass of field cultures in the top part of an arable layer. The factor authentically defining the changeability of mineral forms of nitrogen was not revealed. The soil-protective technology of processing of the soil caused the shift of activity of mineralization of nitrogen for later terms in comparison with arable option.

Keywords: difficult and easily hydrolysable mineral nitrogen of soil, processing.

Введение. Одним из важнейших показателей почвенного плодородия, лимитирующих продуктивность экосистем, является содержание азота в почве. Черноземы Красноярской лесостепи отличаются высокими запасами общего азота и дефицитом его минеральных форм [1, 2] благодаря жестким метеорологическим условиям региона. Широкое освоение почвозащитной системы земледелия на основе минимизации обработки сопровождается изменением азотного режима. Это требует исследования механизмов и приемов регулирования напряженности биологических процессов в почве.

Цель исследования: оценить содержание и динамику щелочногидролизующих и минеральных форм азота в условиях минимизации основной обработки чернозема выщелоченного Красноярской лесостепи.

Объекты и методы исследования. Исследования проведены на опытном поле ОАО «Коркиноагропромхимия» Красноярской лесостепи (56°37' с. ш. и 93°12' в. д.). Производственный опыт заложен в 2006 г. на территории землепользования СПК «Шилинское» под руководством д. с.-х. н. Л.Р. Мукиной и И.А. Куприна. Период действия почвозащитной технологии к началу наших наблюдений составил семь лет.

В вегетационный сезон 2013 г. *отвальная* (традиционная) основная обработка состояла из зяблевой вспашки плугом на глубину 20–22 см и весенней культивации. Посев яровой пшеницы в 2013–2014 гг. проводился комбинированным агрегатом – стерневой сеялкой СС-6 с одновременным припосевным внесением нитроаммофоски. *Минимальная обработка* почвы осуществлялась СКС-3,2. С помощью дисковых гори-

зонтальных сошников посевного комплекса проводилась обработка почвы на глубину 4–5 см, посев семян ярового рапса (2013 г.) и яровой пшеницы (2014 г.) – с одновременным внесением нитроаммофоски. Таким образом, схема опыта состояла из следующих вариантов (способов обработки): 1) отвальная (st); 2) минимальная (поверхностное рыхление). На выбранных реперных участках площадью 500 м² отбирали почвенные образцы из слоев 0–5 и 5–20 см методом змейки. Объем выборки (n = 15) рассчитывали, исходя из определенной до опыта величины варьирования почвенного плодородия.

Почвенный покров стационара представлен черноземом выщелоченным многогумусным среднемоющим легкоглинистым с содержанием гумуса в пахотном слое 8,9 %, нейтральной реакцией среды (рН_{Н2О} = 6,8), высокой суммой обменных оснований и степенью насыщенности основаниями.

Для вегетационного периода 2013 г. температура воздуха была ниже нормы в начале и конце сезона. За теплый период выпало 367 мм осадков. Относительно влажными оказались май и июнь. Дальнейшее увеличение количества осадков происходило в период август–сентябрь. Теплообеспеченность периода вегетации 2014 г. приближалась к норме. Исключение составили май и сентябрь. Количество осадков колебалось в широком диапазоне с тенденцией к превышению средней многолетней нормы. На протяжении большинства месяцев теплого периода 2014 г. увлажнение было несколько выше относительно средней многолетней нормы. Максимальное количество осадков выпало в июле – 89 мм. Согласно Г.Т. Селянинову, величина ГТК за июнь – август составила 1,3.

Химические и физико-химические показатели получены по [3]. Содержание нитратного азота (N-NO₃) устанавливали по Грандваль-Ляжу в модификации [4], аммонийного азота (N-NH₄) в вытяжке 0,2 н. K₂SO₄ – с реактивом Несслера. Для извлечения из почвы легко- и трудногидролизующих соединений азота использованы растворы щелочи разной концентрации: 1 и 6 М NaOH соответственно [5]. Выделяющийся при этом аммиак учитывали микродиффузным методом Корнфилда. Статистический анализ про-

водился с использованием программы MS Excel.

Результаты исследования. Технологии основной обработки почвы оказывают существенное влияние на агрофизические параметры и биохимическую напряженность, от которых зависит мобилизация доступных растениям пита-

тельных веществ. Полученные нами данные иллюстрируют значительное преобладание среди гидролизуемых компонентов фракции трудногидролизуемого азота. Его превращения указывают на слабое гидролитическое расщепление органического вещества (табл. 1, 2).

Таблица 1

Динамика трудногидролизуемого азота в черноземе выщелоченном (2013 г.), мг/кг

Вариант	Срок определения					
	21.05.2013		28.07.2013		2.10.2013	
	0–5 см	5–20 см	0–5 см	5–20 см	0–5 см	5–20 см
Отвальная	419	434	304	289	311	308
Минимальная	291	290	375	294	310	292
НСП ₀₅	37	36	35	56	36	24

Таблица 2

Динамика трудногидролизуемого азота в черноземе выщелоченном (2014 г.), мг/кг

Вариант	Срок определения					
	25.06.2014		28.07.2014		18.09.2014	
	0–5 см	5–20 см	0–5 см	5–20 см	0–5 см	5–20 см
Отвальная	335	331	310	309	262	240
Минимальная	285	278	296	271	290	291
НСП ₀₅	27	24	21	26	24	20

Значимая аккумуляция N_{tr} при отвальной обработке в мае 2013 г. обусловлена различными факторами. Одной из причин низкой степени минерализации является холодный гидротермический режим почв Красноярской лесостепи [1]. Существенный вклад в разложение соломистого материала зерновых культур, наряду с другими факторами, вносил способ обработки почвы. Отвальная вспашка обеспечивала рыхлое ее сложение – 0,75 г/см³ и создавала условия для интенсивного выхолаживания. Оно, вероятно, способствовало проявлению процессов консервации и «старения» органических коллоидов. Поверхностное рыхление, перемешивая поступившие пожнивные и корневые остатки растений пшеницы с верхним 0–5 см слоем почвы, содействовало смещению пика накопления N_{tr} на середину сезона. Причем в отдель-

ные периоды найдено существенное его преобладание в верхнем 0–5 см слое. Довольно короткий период биохимической активности Сибирского региона ограничивает возможности фракции трудногидролизуемого азота как резерва для накопления его минеральных соединений [6].

Накопление легкогидролизуемых соединений в 0–20 см слое почвы в условиях отвальной вспашки существенно превышало вариант с минимальной обработкой в октябрьский срок. На фоне отвального перемешивания почвы наиболее благоприятные условия для накопления N_{tr} складывались в середине и конце вегетации 2013 г. (табл. 3) и свидетельствовали о «высокой» оценке по шкале обеспеченности растений азотом, предложенной Э.И. Шконде.

Динамика легкогидролизуемого азота в черноземе выщелоченном (2013 г.), мг/кг

Вариант	Срок определения					
	21.05.2013		28.07.2013		2.10.2013	
	0–5 см	5–20 см	0–5 см	5–20 см	0–5 см	5–20 см
Отвальная	127	125	205	196	217	223
Минимальная	134	118	190	183	171	162
НСР ₀₅	37	10	18	26	13	22

В условиях менее влажного сезона 2014 г. в пахотном слое почвы содержание $N_{лг}$ указывало на высокую обеспеченность азотом (табл. 4). В течение летнего периода его количество увеличивалось. По-видимому, разложение пожнивнокорневых пшеничных остатков, обогащенных

трудногидролизуемыми соединениями, и широкое отношение в них углерода к азоту создают, по мнению [7], лучшие предпосылки для образования гумусовых веществ и приводит к накоплению легкогидролизуемых соединений азота.

Таблица 4

Динамика легкогидролизуемого азота в черноземе выщелоченном (2014 г.), мг/кг

Вариант	Срок определения					
	25.06.2014		28.07.2014		18.09.2014	
	0–5 см	5–20 см	0–5 см	5–20 см	0–5 см	5–20 см
Отвальная	261	255	186	193	195	193
Минимальная	179	175	181	173	197	178
НСР ₀₅	17	17	14	14	15	14

В условиях минимальной обработки в течение двух вегетационных сезонов ход распределения азотсодержащих органических соединений почвы свидетельствовал о низкой потребности в удобрениях. С той лишь разницей, что пик накопления $N_{лг}$ в течение вегетационного сезона 2013 г. зафиксирован в июне, а в 2014 г. – в сентябре. Для надсеменного (0–5 см) слоя почвы характерна наибольшая его концентрация в сравнении с толщей 5–20 см. Динамика $N_{лг}$ в почве под яровой пшеницей, следовавшей за рапсом, характеризовалась длительным максимумом. Очевидно, наиболее высокие темпы деструкции биомассы рапса, богатого азотом и зольными элементами, обеспечивали высвобождение из разлагающегося материала легкоминерализуемых азотсодержащих соединений. В целом характер этих изменений связан с расположением основной массы свежих органических остатков в почве, обусловленный глубиной заделки растительного материала. Как свидетельствуют исследования [8], дисковые почвообрабатывающие орудия действуют как подземный каток, создавая подошву на глубине хода дисков, яв-

ляясь причиной торможения процессов мобилизации питательных веществ. Двухфакторный дисперсионный анализ позволил выявить зависимость содержания различных форм азота от ряда изучаемых факторов. Данные рисунка 1 иллюстрируют значимый вклад в изменчивость гидролизуемых форм азота фактора «обработки», обуславливающего различную интенсивность их минерализации.

Содержание восстановленных соединений азота в условиях отвальной вспашки в течение двух периодов наблюдений в пахотном слое регистрировалось как низкое и очень низкое (табл. 5, 6).

В почве поля, обрабатываемого по типу минимальной технологии, в динамике аммиачного азота наблюдалась тенденция количественного увеличения от весны к осени 2013 г. Их содержание достоверно превышало почву под отвальной обработкой. Гораздо энергичнее эти процессы проходили в поверхностном 0–5 см слое почвы, постепенно ослабляясь с глубиной. В течение следующего вегетационного сезона содержание аммонийного азота в почве под

яровой пшеницей не превышало 3,5 мг/кг и соответствовало очень низкому уровню обеспеченности элементом. Исчезновение аммиачного азота в почве вариантов, очевидно, объясняется не только утилизацией его растениями, но и биологическим закреплением элемента микроорганизмами в результате поступления в почву растительной биомассы, бедной азотом. По-

добные результаты были получены [9, 10]. В течение следующего этапа наблюдений более благоприятные гидротермические условия усиливали микробиологическую активность, что способствовало окислению аммонийного азота до нитратного (табл. 6).

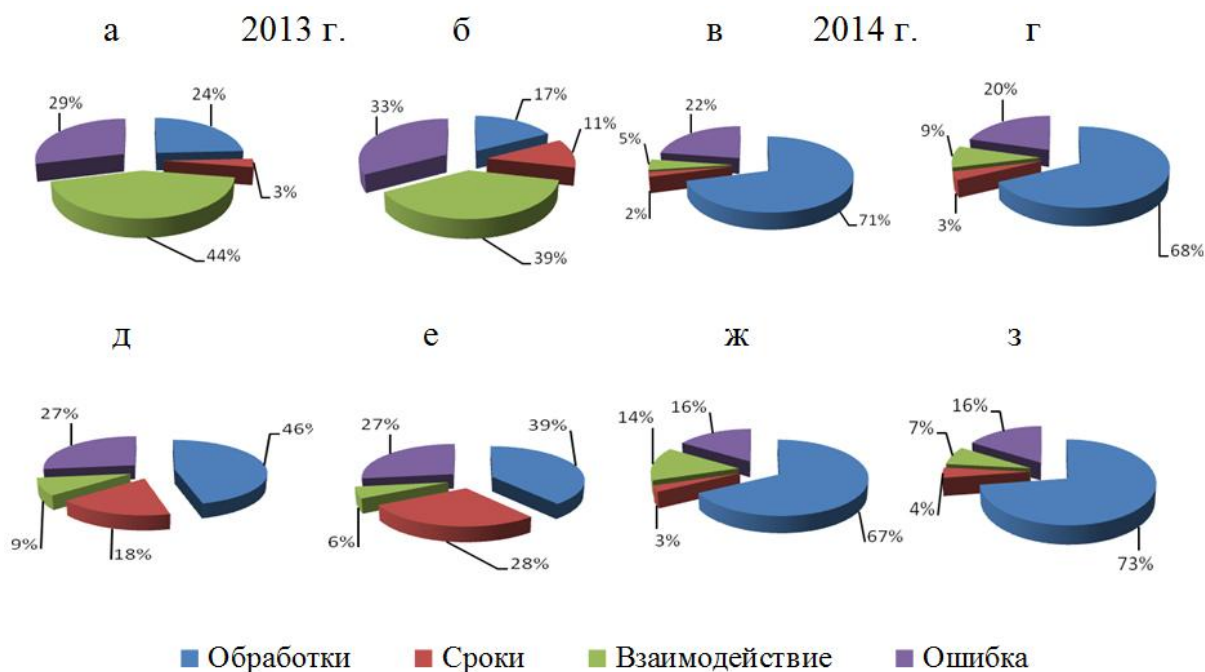


Рис. 1. Вклад исследуемых факторов на содержание трудногидролизуемого азота (а, в – 0–5 см; б, г – 5–20 см) и легкогидролизуемого азота (д, ж – 0–5 см; е, з – 5–20 см)

Таблица 5
Динамика поглощенного аммония в черноземе выщелоченном (2013 г.), (мг N-NH₄) / кг

Вариант	Срок определения					
	21.05.2013		28.07.2013		02.10.2013	
	0–5 см	5–20 см	0–5 см	5–20 см	0–5 см	5–20 см
Отвальная	1,6	2,1	2,0	1,8	4,2	4,3
Минимальная	3,9	2,7	7,1	2,3	13,7	7,2
НСР ₀₅	1,4	2,6	2,8	F _ф <F _т	4,2	1,6

Анализ полученных результатов обнаружил низкую активность нитрификационных процессов в почве вариантов (табл. 7). Одной из причин угнетения нитратонакопления в первой половине вегетационного сезона 2013 г. являются неблагоприятные гидротермические условия.

Позднее низкое содержание нитратного азота в почве совпадало с периодом активного рос-

та колосовых культур, подавления аэрации в результате уплотнения и поглощения кислорода корневой системой однолетних злаков.

Совсем по-иному складывалась динамика нитратного азота в течение следующего вегетационного периода (табл. 8).

Динамика поглощенного аммония в черноземе выщелоченном (2014 г.), (мг N-NH₄) / кг

Вариант	Срок определения					
	25.06.2014		28.07.2014		18.09.2014	
	0–5 см	5–20 см	0–5 см	5–20 см	0–5 см	5–20 см
Отвальная	1,3	0,9	1,0	0,9	1,0	1,0
Минимальная	1,0	1,0	0,5	1,1	3,5	1,4
НСР ₀₅	0,2	0,2	0,01	0,3	0,5	0,3

Динамика нитратного азота в черноземе выщелоченном (2013 г.), (мг N-NO₃) / кг

Вариант	Срок определения					
	21.05.2013		28.07.2013		2.10.2013	
	0–5 см	5–20 см	0–5 см	5–20 см	0–5 см	5–20 см
Отвальная	3,3	3,9	4,8	4,0	3,3	4,5
Минимальная	3,1	3,2	2,9	1,5	2,5	1,3
НСР ₀₅	1,4	2,6	F _φ < F _t	0,9	0,9	1,9

Динамика нитратного азота в черноземе выщелоченном (2014 г.), (мг N-NO₃) / кг

Вариант	Срок определения					
	25.06.2014		28.07.2014		18.09.2014	
	0–5 см	5–20 см	0–5 см	5–20 см	0–5 см	5–20 см
Отвальная	28,1	20,0	9,8	10,3	6,5	5,6
Минимальная	11,7	7,1	10,6	6,0	7,9	7,5
НСР ₀₅	1,5	3,1	4,9	3,8	F _φ < F _T	F _φ < F _T

Под влиянием механического перемешивания почвы максимальное его содержание выявлено в первой половине лета для верхней части пахотного слоя в период высокой биологической активности почвы. Количество образовавшегося нитратного азота соответствовало очень высокому уровню. Использование минимальной обработки почвы обусловило значительно меньшее накопление нитратного азота лишь в первой половине вегетации. Надсеменная часть пахотного слоя характеризовалась большими значениями нитратонакопления в сравнении с толщей 5–20 см. Сходные результаты в своих наблюдениях при разных способах обработки старопашотных черноземов Западной Сибири отмечал [11].

Фактора, определяющего колеблемость минеральных форм азота, не выявлено, что, по-видимому, связано с очень высокой их пространственной неоднородностью и низким содержанием в почве (рис. 2).

Величины показателя силы влияния указывают, в большинстве случаев, на роль взаимодействия обработок и сроков. Разложение органического вещества, с которым связана мобилизация минерального азота, по-видимому, определялось колебаниями гидротермических условий и характером превращения легкоминерализуемых соединений в почве по разным фоновым основным обработкам.

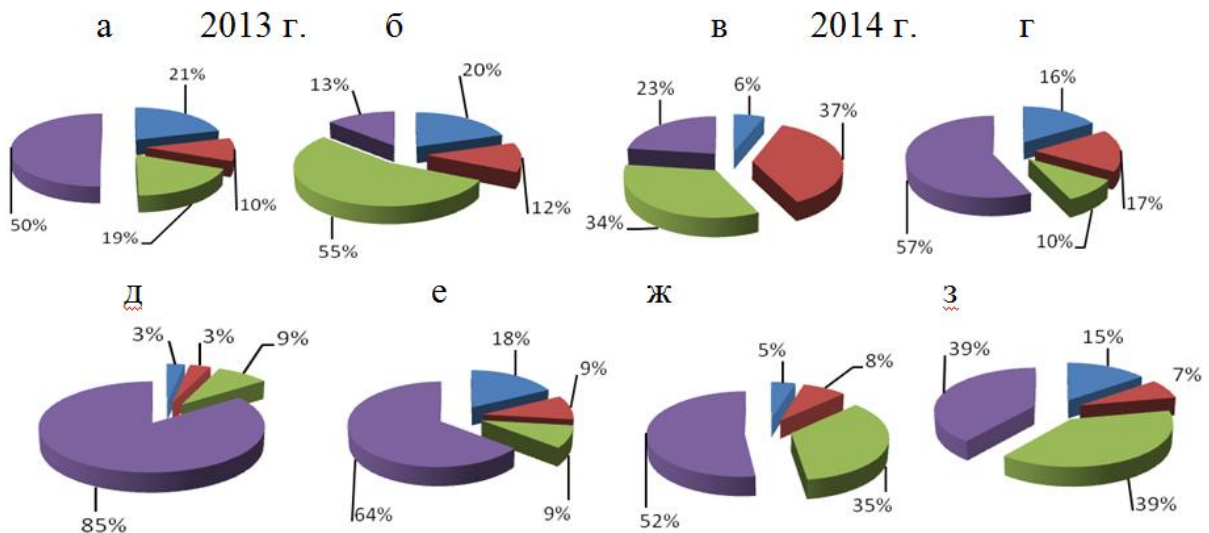


Рис. 2. Вклад исследуемых факторов на содержание аммонийного (а, в – 0–5 см; б, г – 5–20 см) и нитратного азота (д, ж – 0–5 см; е, з – 5–20 см)

Выводы

1. Превращение азота трудногидролизуемых соединений указывает на слабое гидролитическое расщепление органического вещества. Максимумы трудногидролизуемой фракции приходятся на разные сроки и определяются способом основной обработки почвы.

2. Содержание легкогидролизуемых соединений в почве полей, обрабатываемых по типу отвальной вспашки и поверхностного рыхления, характеризуется высокими значениями, но их пики не одновременны.

3. Флуктуации минеральных форм азота обусловлены глубиной обработки почвы и локализацией фитомассы растений в верхней части пахотного слоя.

4. Почвозащитная технология обработки почвы обуславливает смещение активности минерализации азота на более поздние сроки в сравнении с пахотным вариантом.

Литература

1. Бугаков П.С., Горбачева С.М., Чупрова В.В. Почвы Красноярского края. – Красноярск, 1981. – 126 с.
2. Чупрова В.В. Углерод и азот в агроэкосистемах Средней Сибири / Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 1997. – 166 с.
3. Воробьева Л.А. Теория и практика химического анализа почв. – М.: ГЕОС, 2006. – 400 с.
4. Иодко С.Л., Шарков И.Н. Новая модификация дисульфифенолового метода определения нитратов в почве // Агрохимия. – 1994. – № 4. – С. 95–97.
5. Кислых Е.Е. К методике фракционирования органического азота и оценке плодородия в подзолистых почвах // Органическое вещество в почвах Кольского полуострова. – Апатиты, 1975. – С. 92–105.
6. Пигарева Н.Н., Корсунов В.М. Агрохимия почв криолитозоны Забайкалья. – Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2004. – 204 с.
7. Чупрова В.В. Баланс углерода в агроэкосистемах Средней Сибири // Сибирский экологический журнал. – 1997. – № 4. – С. 355–361.
8. Тарасенко Б.И. Повышение плодородия почв Кубани. – Краснодар: Изд-во КубГАУ, 2014. – 130 с.
9. Кильби И.Я. Динамика нитратного и аммиачного азота в почве под различными культурами в звеньях полевых севооборотов // Повышение урожайности сельскохозяйственных культур. – Красноярск, 1971. – Т. XXII. – С. 66–73.
10. Лубите Я.И. Азотный режим почв // Биологическая активность и азотный режим почв Красноярской лесостепи. – Красноярск, 1975. – С. 111–249.
11. Шарков И.Н. Минимизация обработки и ее влияние на плодородие почвы // Земледелие. – 2009. – № 3. – С. 24–27.

Literatura

1. Bugakov P.S., Gorbacheva S.M., Chuprova V.V. Pochvy Krasnojarskogo kraja. – Krasnojarsk, 1981. – 126 s.
2. Chuprova V.V. Uglерod i азот v агројекосистемах Средней Сибири / Krasnojarsk gos. agrar. un-t. – Krasnojarsk, 1997. – 166 s.
3. Vorob'eva L.A. Teorija i praktika himicheskogo analiza pochv. – M.: GEOS, 2006. – 400 s.
4. Iodko S.L., Sharkov I.N. Novaja modifikacija disul'fоfenолоvоgо metoda opredelenija nitratov v pochve // Agrohimiја. – 1994. – № 4. – S. 95–97.
5. Kislyh E.E. K metodike frakcionirovanija organicheskogo азота i ocenke plodorodija v podzolistyh pochvah // Organicheskoe veshhestvo v pochvah Kol'skogo poluostrоva. – Apatity, 1975. – S. 92–105.
6. Pigareva N.N., Korsunov V.M. Agrohimiја pochv kriolitozony Zabajkal'ja. – Ulan-Udje: Izd-vo BNC SO RAN, 2004. – 204 s.
7. Chuprova V.V. Balans uglерoda v агројекосистемах Средней Сибири // Sibirskij јекологический журнал. – 1997. – № 4. – S. 355–361.
8. Tarasenko B.I. Povyshenie plodorodija pochv Kubani. – Krasnodar: IZD-VO KUBGAU, 2014. – 130 s.
9. Kil'bi I.Ja. Dinamika nitratnоgо i ammiachnоgо азота v pochve pod razlichnymi kul'turami v zven'jah polevyh sevooborotov // Povyshenie urozhajnosti sel'skоhozјajstvennyh kul'tur. – Krasnojarsk, 1971. – T. XXII. – S. 66–73.
10. Lubite Ja.I. Azotnyj rezhim pochv // Biologicheskaja aktivnost' i азotnyj rezhim pochv Krasnojarskoj lesostepi. – Krasnojarsk, 1975. – S. 111–249.
11. Sharkov I.N. Minimizacija obrabоtki i ee vlijanie na plodorodie pochvy // Zemledelie. – 2009. – № 3. – S. 24–27.



УДК 631.427

А.А. Белоусов

РЕАКЦИЯ АЗОТА И УГЛЕРОДА МИКРОБНОЙ БИОМАССЫ ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО
В УСЛОВИЯХ МИНИМИЗАЦИИ ОБРАБОТКИ

A.A. Belousov

THE REACTION OF NITROGEN AND CARBON OF MICROBIC BIOMASS
OF THE CHERNOZYOM LEACHED IN THE CONDITIONS OF PROCESSING MINIMIZATION

Белоусов А.А. – канд. биол. наук, доц. каф. почвоведения и агрохимии Красноярского государственного аграрного университета, г. Красноярск. E-mail: svoboda57130@mail.ru

Belousov A.A. – Cand. Biol. Sci., Assoc. Prof., Chair of Soil Science and Agrochemistry, Krasnoyarsk State Agricultural University, Krasnoyarsk. E-mail: svoboda57130@mail.ru

Цель исследования – оценить содержание и динамику азота углерода микробной биомассы при использовании отвального, минимального и нулевого способов обработки чернозема выщелоченного Красноярской лесостепи. Экспериментальные исследования проведены в Красноярском природном округе на земельных площадях СПК «Шилинское» Сухобузимского района (56°37'с.ш. и 93°12'в.д.). Влияние почво-

защитных технологий на динамику содержания углерода и азота микробной биомассы почвы изучалось в 2013–2014 гг. на базе длительного опыта, заложенного в 2006 г. под руководством И.А. Куприна и д. с.-х. н. Л.Р. Мукиной. В пределах производственных посевов были выделены реперные участки площадью 500 м². Почвенные образцы отбирались из слоев 0–5 и 5–20 см методом змейки. Объем