

**Закключение.** Исследования в 10-й ротации полевого севооборота подтвердили эффективность возделывания озимой пшеницы с комплексным применением удобрений, средств защиты растений и другими химическими средствами нового поколения. Это обеспечивает одновременно с улучшением потенциального плодородия почвы повышение урожайности зерна озимой пшеницы и улучшает энергетическую эффективность выращивания культуры в севообороте.

#### Литература

1. Алиев А.М., Старостина Е.Н. Продуктивность культур и окупаемость удобрений при длительном применении комплексных средств химизации в полеводческом севообороте // Плодородие. – 2017. – № 6. – С 8-10.
2. Алиев А.М., Сычев В.Г., Ваулина Г.И., Самойлов Л.Н. Научные основы комплексного применения средств химизации и экологические аспекты интенсивного земледелия. – М.: ВНИИА, 2013. – 196 с.
3. Сычев В.Г., Алиев А.М., Кирпичников Н.А. и др. Научные основы применения средств химизации при возделывании озимой пшеницы на дерново-подзолистых почвах Центрального Нечерноземья России (рекомендации). – М.: ВНИИА, 2014. – 44 с.

## ENERGY EFFICIENCY OF AGROCHEMICALS COMPLEX APPLICATION OF IN CULTIVATION OF WINTER WHEAT IN 10TH CROP ROTATION

A.M. Aliev, E.N. Starostina, N.A. Kirpichnikov, G.A. Ivashenkov

Pryanishnikov Institute of Agrochemistry, Pryanishnikova ul. 31A, 127550 Moscow, Russia

*The effect of long-term use of fertilizers and other means of chemicalization on the grain yield and energy efficiency of the cultivation of winter wheat in the field crop rotation under conditions of Russian Central Area of Non-Chernozem Zone is shown. Prolonged use of a complex of chemicals provides 7-8 t/ha of winter wheat grain and significantly increases the energy efficiency of its cultivation technology.*

*Key words: mineral fertilizers, crop rotation, yield, soil properties, energy consumption, energy efficiency*

УДК 631.82 : (631.413+631.452):549.086

## ВЛИЯНИЕ ИЗВЕСТКОВАНИЯ И МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА МИКРОСТРОЕНИЕ И ЕМКОСТЬ КАТИОННОГО ОБМЕНА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ

Л.В. Яковлева, д.с.-х.н., Е.А. Николаева, Ленинградский НИИСХ «Белогорка»

188338, Ленинградская область, Гатчинский район, дер. Белогорка, ул. Институтская, д.1,

[livlaya@mail.ru](mailto:livlaya@mail.ru)

*Показаны на примере изучения почв контрастных вариантов длительного опыта изменения физико-химических свойств и микростроения почвы под влиянием применения минеральных удобрений и известкования. Изменения происходят не только в пахотном, но и в подпахотных горизонтах за счет усиления миграционной способности различных веществ по профилю почвы при сельскохозяйственном использовании. В верхнем горизонте емкость катионного обмена связана прежде всего с наличием органического вещества и оснований, в подпахотных горизонтах первостепенную роль играет минеральная часть, в первую очередь гранулометрический состав почвы и содержание илистой фракции.*

*Ключевые слова: удобрения, поглощательная способность, плодородие, микроскопические исследования почвы, длительные опыты.*

DOI: 10.25680/S19948603.2018.104.10

Увеличение разнообразия антропогенных воздействий на почву, возрастание их интенсивности обуславливают необходимость углубления исследований по выяснению механизмов, приводящих к изменению исходных свойств и строения почвы. Изучение изменения минеральной части почвы под влиянием увеличивающихся антропогенных воздействий имеет большое теоретическое значение и прямой выход на практические задачи сельскохозяйственного производства. Такие исследования важны для сохранения и воспроизводства плодородия почв.

Минеральная часть почвы играет существенную роль в ее плодородии. В первичных и вторичных минералах сосредоточены многие элементы питания: калий, кальций, магний, железо, фосфор, микроэлементы, которые могут быть связаны с ними. Кроме того, для усвоения минеральных веществ большое значение имеют физико-химические и физические свойства почвы: емкость катионного обмена, липкость, набухание, водопроницаемость, влагоемкость и т.д., которые напрямую зависят от ее минералогического состава. Поэтому изучение

изменения количественного соотношения и свойств различных групп минералов под воздействием человека имеет большое научное и практическое значение.

Однако до сих пор этот вопрос остается малоизученным. Сведения о минералогическом составе дерново-подзолистых почв России можно найти в работах [1-4], но они часто весьма противоречивы и относятся в основном к природным объектам и почвам тяжелого гранулометрического состава. Кроме того, недостаточно изучены изменения состава и свойств минералов в связи со степенью окультуренности почвы, хотя этот вопрос приобрел сейчас большую актуальность. Исследования в этой области почвоведения начали только тогда, когда изменения свойств почв, в том числе их деградация и снижение плодородия в результате антропогенного воздействия, не могли объяснить с позиций традиционных подходов. Применение метода микроморфологии позволяет не только исследовать минеральные компоненты крупнодисперсной (скелетной) части почвы, выяснить из каких минералов она состоит и какова ее структура, но и изучить ненарушенные струк-

турные взаимоотношения компонентов почвы. В изучении неблагоприятных антропогенных изменений в почвах использование микроморфологического метода наиболее перспективно, так как он позволяет фиксировать самые первые, начальные стадии изменений в строении почвенной массы, а следовательно прогнозировать дальнейшие изменения в почвах, их структурной организации, перераспределении компонентов микростроения и т.д. Такие исследования позволяют раскрыть причины, приводящие к негативным явлениям, существенно ограничивающим продуктивность сельскохозяйственных культур.

**Методика.** Опыт заложен в 1981 г. и продолжается по настоящее время. Объектами исследования являются почвы контрастных вариантов длительного полевого опыта с применением минеральных удобрений и известкованием. Варианты по известкованию: без извести, известкование по 1 Нг, известкование по 2,5 Нг; по уровню удобренности: без удобрений, высокий уровень удобренности. Кроме того, изучают аналогичные почвы, но длительное время не обрабатываемые (залежь), и никогда не подвергавшиеся обработке (лес). Изучали пробы почвы из разрезов, пахотного горизонта делянок длительного опыта и образцы, отобранные на контрастных делянках опыта с глубины 0-20, 20-40 и 40-60 см.

Определения физико-химических свойств почвы проводили общепринятыми методами в вытяжке 1н. КС1 с рН 5,8, гумуса – по Тюрину, емкости катионного обмена – по методу Е.В. Бобко и Д.Л. Аскинази в модификации П.П. Грабарова и З.А. Уваровой (вариант Алешина) [5].

Описание шлифов почв контрастных вариантов длительного опыта осуществляли на оборудовании кафедры почвоведения Санкт-Петербургского университета (микроморфологический анализ с помощью поляризационного микроскопа) [6].

Результаты обрабатывали методом дисперсионного анализа. Коэффициенты корреляции рассчитывали по Спирмену [7].

**Результаты и их обсуждение.** Изучение физико-химических свойств почвы длительного опыта показало, что на высоком уровне применения удобрений через 36 лет после известкования наблюдается снижение реакции почвы ниже уровня контроля. Высокие дозы извести продолжали поддерживать рН почвы около 5 ед. и через 36 лет после известкования, хотя и здесь (до дозы извести по 2Нг) наблюдается снижение реакции с возрастом уровня применения минеральных удобрений (табл. 1).

#### 1. Изменение реакции почвы при длительном внесении минеральных удобрений на различных уровнях известкования, ед. рН

Фон удобрений	Дозы извести в долях Нг (известкование в 1981 г.)						Средние по А (удобр.) НСР <sub>0,5</sub> =0,16
	0	0,25	0,5	1,0	2,0	2,5	
Без удобрений	4,23	4,47	4,68	5,13	5,47	2,5	4,89
Средний	4,02	4,28	4,46	5,26	5,10	5,37	4,72
Повышенный	3,98	4,12	4,33	4,68	5,13	5,21	4,60
Высокий	3,68	4,12	4,26	4,48	5,08	5,34	4,39
Средние по В (известь) НСР <sub>0,5</sub> =0,21	3,98	4,25	4,43	4,89		5,16	

НСР<sub>0,5</sub> для сравнения частных средних = 0,38

Содержание обменных кальция и магния в почве снижается с увеличением уровня удобренности (табл.2)

в результате усиления миграционной способности оснований под влиянием подвижных анионов удобрений [8].

#### 2. Содержание обменных кальция и магния в почве, мг-экв/100 г

Фон удобрений	Дозы извести в долях Нг (известкование в 1981 г.)						Средние по А (удобр.) НСР <sub>0,5</sub> =0,32
	0	0,25	0,5	1,0	2,0	2,5	
Без удобрений	0,913	1,555	1,890	3,184	3,329	3,235	2,35
Средний	0,680	1,253	1,657	3,055	3,130	3,105	2,15
Повышенный	0,655	1,190	1,155	2,400	3,283	3,190	1,98
Высокий	0,425	1,060	1,775	2,023	2,110	3,120	1,75
Средние по В (известь) НСР <sub>0,5</sub> =0,40	0,67	1,26	1,62	2,67	2,96	3,16	

НСР<sub>0,5</sub> для сравнения частных средних = 1,04

При высоком уровне удобренности гидролитическая кислотность в вариантах с внесением извести менее 2,5 Нг становится выше, чем на контроле (табл.3). Это связано с обеднением пахотного горизонта при длительном использовании повышенных доз минеральных удобрений, со снижением реакции почвы и обратным переходом полутвердых оксидов в подвижные формы.

#### 3. Изменение гидролитической кислотности (мг-экв/100 г) почвы при длительном внесении минеральных удобрений на различных уровнях известкования

Фон удобрений	Дозы извести в долях Нг (известкование в 1981 г.)						Средние по А (удобр.) НСР <sub>0,5</sub> =0,26
	0	0,25	0,5	1,0	2,0	2,5	
Без удобрений	4,14	4,07	3,47	3,40	2,72	2,98	3,46
Средний	4,85	4,59	4,19	3,42	3,35	3,27	3,95
Повышенный	4,85	4,90	4,11	4,00	3,44	3,22	4,09
Высокий	5,17	5,09	4,79	4,71	4,30	3,44	4,59
Средние по В (известь) НСР <sub>0,5</sub> =0,32	4,75	4,66	4,14	3,88	3,45	3,23	

НСР<sub>0,5</sub> для сравнения частных средних = 0,61

Начальное содержание гумуса в почве многолетнего опыта было около 2,2%. Без внесения органических удобрений общее содержание гумуса снижается до 1,75 и даже 1,23%.

Такие серьезные изменения физико-химических свойств почвы под влиянием длительного действия минеральных удобрений связаны с изменениями в почвенном поглощающем комплексе, т. е. с изменениями в органической и минеральной частях почвы, что повлияло на урожайность возделываемых культур. В 2017 г. в опыте выращивали яровой ячмень сорта Ленинградский. Ячмень отзывчив на известкование, при совместном внесении минеральных удобрений и извести урожайность его увеличилась в 1,8 раза (табл.4).

#### 4. Влияние извести и минеральных удобрений на урожайность ярового ячменя сорта Ленинградский, ц/га

Фон удобрений	Дозы извести в долях Нг			Средние по уровням удобрен. НСР <sub>0,5</sub> =2,5
	0	1,0	2,5	
Без удобрений	14,4	21,2	17,8	17,8
Средний	12,4	26,1	24,2	20,9
Высокий	12,6	26,1	25,7	21,5
Средние по уровням известкования НСР <sub>0,5</sub> =2,5	13,1	24,4	22,6	

НСР<sub>0,5</sub> для сравнения частных средних = 5,6

Наибольшая урожайность ячменя, даже в условиях экстремального по погодным условиям 2017 г. и при позднем посеве, наблюдается на делянках, где проводили известкование дозой извести по 1Нг. Значит в этих вариантах наиболее благоприятные условия для развития растений. Но при этом происходит и более сильное воздействие на все фазы и системы почвы, что приводит к изменениям в минеральной части почвы.

Морфологическое описание разрезов почвы в контрастных вариантах показывает внешние различия в строении профиля через 36 лет после закладки опыта. Наблюдаются существенные различия в физико-химических свойствах почвы, изменяется емкость катионного обмена (рис. 1). В результате сельскохозяйственного использования емкость катионного обмена верхнего (пахотного) горизонта снижается примерно в 2 раза по сравнению с органогенным горизонтом исходной почвы под лесом за счет большей интенсивности протекающих процессов при сельскохозяйственном использовании.

Закономерности изменения емкости катионного обмена по профилю схожи во всех трех разрезах. Высокая емкость в верхних горизонтах обусловлена, в основном, органическим веществом. Увеличение емкости в средней части профиля (горизонт В) связано с более тяжелым гранулометрическим составом подстилающей породы (морены).

Мы попытались рассчитать коэффициенты ранговой корреляции зависимости емкости катионного обмена от различных физико-химических показателей в различных частях почвенного профиля. Почвенным буром были отобраны пробы почвы с различной глубины. Определение коэффициента корреляции по Спирмену показало следующее (табл. 5).

В пахотном горизонте емкость катионного обмена зависит, прежде всего, от содержания органического

вещества и параметров кислотно-основного равновесия. В подпахотном горизонте связь средней тесноты обнаруживается с органическим веществом и гидролитической кислотностью, обусловленной наличием в почве поглощенных ионов водорода и алюминия, способных к обмену. То есть большее значение в подпахотных горизонтах приобретают минеральные компоненты почвы, наличие пылеватой и илистой фракции. На глубине иллювиального горизонта (40-60 см) роль органического вещества не выражена в связи с малым его количеством и присутствием в виде небольшого числа пленок и затеков.

##### 5. Зависимость емкости катионного обмена от некоторых физико-химических показателей почвы длительного опыта (коэффициенты ранговой корреляции по Спирмену, $R = 0,05$ )

Параметры		Глубина взятия образца, см		
X	Y	0-20	20-40	40-60
pH <sub>KCl</sub>	ЕКО	0,867	- 0,267	- 0,117
Нобм.	ЕКО	- 0,870	0,300	- 0,038
Нг	ЕКО	- 0,767	0,617	0,017
Са	ЕКО	0,933	- 0,488	- 0,046
Гумус	ЕКО	0,950	0,633	0,154

При длительном применении минеральных удобрений наблюдались существенные различия в микростроении почвы контрастных вариантов опыта (рис. 2).

На основании полученных материалов можно предположить, что длительное применение минеральных удобрений и известкование почвы приводят к более интенсивному выветриванию и изменению минералов почвы. Более глубокое и подробное изучение минеральной части почвы позволит установить направления изменений в групповом и минералогическом составе дерново-подзолистого пахотного почвы под влиянием длительного применения минеральных удобрений и определить пути сохранения плодородия пахотных почв.

Разрез №1 (лес)		Разрез № 4 – Фон 3 + Изв. по 1Нг (дел.35)		Разрез №6 - контроль (дел.14)	
Горизонт, глубина, см	ЕКО, мэкв/100 г	Горизонт, глубина, см	ЕКО, мэкв/100 г	Горизонт, глубина, см	ЕКО, мэкв/100 г
О 1-6(8)	<b>81,5</b>	А пах 0-25(30)	<b>12,2</b>	А пах 0-28(31)	<b>10,6</b>
А 6(8)-34(36)	<b>24,1</b>	BEL 1 25(30)-57(60)	<b>6,2</b>	BEL 1 28(31)-31(36)	<b>4,0</b>
Е 34(36)-65(68)	<b>3,4</b>	BEL 2 57(60)-81(88)	<b>4,0</b>	BEL 2 31(36)-42(53)	<b>2,3</b>
BF 65(68)-75(76)	<b>5,6</b>	B1 81(88)-131(142)	<b>13,7</b>	В 42(53)-101(104)	<b>12,7</b>
BHFg 75(76)-87(88)	<b>4,0</b>	B2g 131(142)-152	<b>4,4</b>	B2 101(104)-136(139)	<b>18,0</b>
B2 87(88)-125(128)	<b>13,4</b>	B3g 152-170(171)	<b>7,8</b>	BCg 136(139)-166	<b>4,1</b>
BG 25(128)-156(158)	<b>15,9</b>	BG 170(171)-199(200)	<b>12,2</b>		
BCG 156(158)-170	<b>6,6</b>	Cg 199(200)-230	<b>7,8</b>		
CG 170-190	<b>3,5</b>				



Рис. 1. Вид почвы в разрезах под лесом и на делянках полевого опыта

##### Литература

1. Гагарина Э.И. Литологический фактор почвообразования (на примере Северо-Запада Русской равнины).-СПб.:Изд-во С.-Петерб.ун-та, 2004.- 260 с.

2. Добровольский Г.В. Микроморфологический контроль процесса освоения и окультуривания дерново-подзолистых почв // Микроморфология антропогенно измененных почв.-М.:Наука, 1988.- С.31-36.

3. Перераспределение минералов в элювиально-иллювиальном горизонте агродерново-подзолистой почвы /Чижикова Н.П., Скворцова

Е.Б., Варламов Е.Б., Чурилин Н.А., Чурилина А.Е., Абросимов К.Н., Юдина А.В., Романенко К.А. //Бюллетень Почвенного института имени В.В.Докучаева. -2017. – № 88. – С.75-95.

4. Губин С.В. Диагностика начальных этапов изменения луговых почв с помощью микроморфологического метода//Микроморфологическая диагностика почв и почвообразовательных процессов.-М.: Наука, 1983.- С.121-129.

5. ОСТ 46 50-76. Отраслевой стандарт. Методы агрохимических анализов почв. Определение емкости поглощения почв по методу Бобко-

Аскинази-Алешина в модификации ЦИНАО.-Документ по состоянию на январь 2016 г.-Введен в действие Приказом Министерства сельского хозяйства СССР от 20 августа 1976 г. № 173.

6. Парфенова Е.И., Яролова Е.А. Руководство к микроморфологическим исследованиям в почвоведении.- М.: Наука, 1977.- 200 с.

7. Коэффициент ранговой корреляции Ч.Э.Спирмена. <https://www.psychol-ok.ru/statistics/spearman/>.

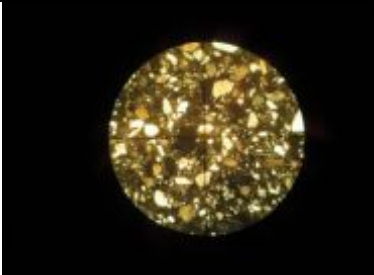
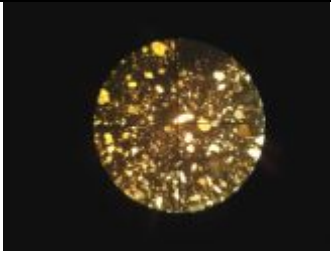
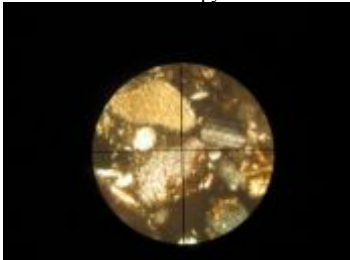

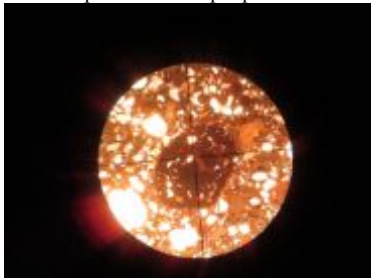
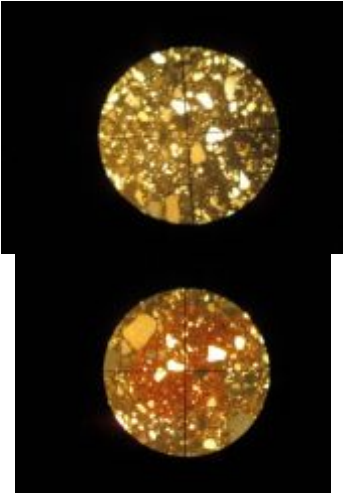
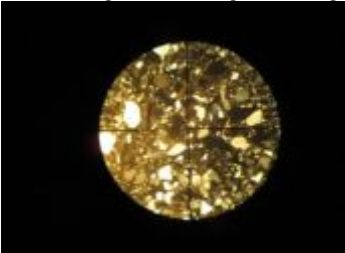
Горизонт	Разрез №6 (контроль)	Разрез № 4 (известь по 1Нг + высокий уровень внесения удобрений)
А пах		
	Зерна полевых шпатов более крупные и их больше 	Грубого органического вещества значительно больше, чем в №6. Больше пылеватых частиц. Полевых шпатов меньше. Поверхность минералов более выветрелая. Более выражено ожелезнение по трещинам минеральных зерен 
	Встречаются микроорштейны 	Нет микроорштейнов в отличие от №6, только железистые сгустки
BEL1	Значительное количество микроорштейнов диаметром до 1-2 мм 	Всего 1 микроорштейн, а в целом горизонты схожи – больше пыли и плазмы по сравнению с вышележащими горизонтами. Большое количество пленок на поверхности минеральных зерен 

Рис. 2. Микростроение почв двух контрастных вариантов опыта

# INFLUENCE OF LIMING AND MINERAL FERTILIZERS ON MICROSTRUCTURE AND CAPACITY OF CATIONIC EXCHANGE OF SOD-PODZOLIC LIGHT-LOAMY SOIL

L.V. Yakovleva, E.A. Nikolaeva

Leningrad research Institute of agricultural science "Belogorka", Institutskaya ul. 1, 188338 Belogorka, Gatchina district, Leningrad region, Russia, E-mail: livlaya@mail.ru

Changes of physical and chemical properties and microstructure of soil under the influence of long-term use of mineral fertilizers and liming are shown. In the upper horizon, the capacity of cationic exchange is associated with organic matter and the number of bases. In sub-ploughing horizons, the most important role is played by the granulometric composition of the soil and the presence of silt fraction. Key words: fertilizers, absorption capacity, fertility, microscopic soil studies, long experience.

УДК 631.582: 631.85

## ИЗМЕНЕНИЕ АЗОТА ОБЩЕГО И ЛЕГКОГИДРОЛИЗУЕМОГО ЧЕРНОЗЁМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО В ПОЛЕВЫХ СЕВООБОРОТАХ

Л.П. Шаталина, к.с.-х.н., Челябинский НИИСХ

456404, Россия, п. Тимирязевский, Челябинская область, Чебаркульский район, ул. Чайковского 14. E-mail: lubashatalina.ru

Представлен характер изменений содержания азота общего и легкогидролизуемого с 1978 по 2013 г. в 0-20 см слое чернозёма выщелоченного в 4-польном зернопаровом, 10-польном зернопаротравяном, 2-польном зерновом севооборотах и при бессменном посеве яровой пшеницы в условиях Южного Урала. Содержание азота общего в 0-20 см слое почвы в большей степени определялось видом севооборота, факторами времени и удобрения. Установлено влияние севооборотов, минеральных удобрений на увеличение баланса азота до положительного в черноземе выщелоченном.

Ключевые слова: азот, севооборот, удобрения, азотфиксация, чернозем выщелоченный.

DOI: 10.25680/S19948603.2018.104.11

Азот наряду с фосфором – основной элемент питания растений, который представлен в виде различных соединений: общий, легкогидролизуемый, амиды, аммиак, нитриты и нитраты. Минеральные соединения азота, за счёт которых происходит питание растений, составляют лишь 1-7% общего азота почв [1]. Вопросы оптимизации азотного режима почв за счёт агротехнических приёмов, минеральных удобрений, биологического азота весьма актуальны [8]. Изучением использования азота занимались ведущие российские учёные: Д.Н. Прянишников, А.В. Петербургский, Е.Н. Мишустин, П.А. Баранов, Г.П. Гамзиков, В.Н. Кудяров и многие другие. При недостатке азота в почве ослабляются образование боковых побегов и кущение злаков [5]. В азотном питании растений определенную роль играют различные соединения этого элемента, в том числе биологический азот, поступающий в процессе азотфиксации молекулярного азота атмосферы такими растениями как горох и люцерна. Максимальная отзывчивость на фосфорные удобрения наблюдается при высокой обеспеченности почв азотом [4]. По минеральным соединениям азота судят об эффективном плодородии почв, они могут быстро трансформироваться под воздействием погодных условий, предшественника и уровня удобренности [7]. Результаты исследований (с 1978 по 2013 г.) содержания азота общего в 0-20 см слое почвы чернозёма выщелоченного показали, что оно связано с интенсивностью использования пашни в севооборотах и с временем. Установлено, что в среднем за 35 лет исследований изменения содержания азота общего в 0-20 см слое почвы в зависимости от типа севооборота составили 0,07-0,08%, от времени – 0,07-0,17%. Содержание легкогидролизуемых форм азота в 0-20 см слое почвы за указанный период существенно

изменялось в зависимости от времени от 65 до 104 мг/кг, от фонов удобренности от 72 до 106 мг/кг. Внесение азотных минеральных удобрений и введение в севооборот многолетних бобовых трав приводят к положительному изменению баланса азота в севооборотах.

Цель наших исследований – определить изменения содержания азота общего и легкогидролизуемого в почвах полевых севооборотов при длительном внесении минеральных удобрений.

**Методика.** Исследования проводили в северной лесостепи Южного Урала с 1978 по 2013 г., на территории землепользования ФГБНУ «Челябинский НИИСХ». Почва опытного участка – чернозем выщелоченный маломощный тяжелосуглинистый. Глубина пахотного слоя почвы под опытным участком – 25-30 см, реакция почвенной среды слабокислая и нейтральная – pH 5,1-7,0, обеспеченность подвижным фосфором слабая – 4,5 мг/100 г почвы, содержание гумуса – 6-6,5 %, сумма поглощенных оснований 28-30 мг-экв/100 г почвы.

Схема опыта: 1. Зернопаровой 4-польный севооборот: 1 – пар; 2 – озимая рожь; 3 – горох; 4 – пшеница; 2. Зернопаротравяной 10-польный севооборот: 1 – пар; 2 – озимая рожь; 3 – горох; 4 – пшеница; 5 – ячмень; 6 – люцерна; 7 – люцерна 2-го года; 8 – люцерна 3-го года; 9 – пшеница; 10 – пшеница; 3. Зерновой 2-польный севооборот: 1 – овес; 2-пшеница; 4. Пшеница бессменно.

Агротехника в опыте – общепринятая для лесостепных агроландшафтов Челябинской области, основанная на отвальной обработке почвы [3,13]. Для северной лесостепи годовая сумма осадков 400-450 мм, сумма  $t > 10^{\circ}\text{C}$  равна 1800-2000 $^{\circ}\text{C}$ , при длительности безморозного периода 110-120 дней, что создает благоприятные