

Научная статья

УДК 631.582:631.41:631.8(571.63)

DOI: 10.37102/0869-7698_2022_223_03_8

Изменение содержания основных элементов питания при последствии разных систем удобрений в длительном агрохимическом стационарном опыте

Р.В. Тимошинов✉, Е.Ж. Кушаева, Л.Е. Марчук, А.А. Дубков, А.Г. Клыков

Роман Витальевич Тимошинов

кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий отделом земледелия и агрохимии
Федеральный научный центр агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки,
Уссурийск, пос. Тимирязевский, Россия
o.zemledelia@yandex.ru
<http://orcid.org/0000-0003-3934-396X>

Елена Жоржевна Кушаева

научный сотрудник
Федеральный научный центр агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки,
Уссурийск, пос. Тимирязевский, Россия
o.zemledelia@yandex.ru
<http://orcid.org/0000-0003-2010-8003>

Людмила Евгеньевна Марчук

младший научный сотрудник
Федеральный научный центр агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки,
Уссурийск, пос. Тимирязевский, Россия
o.zemledelia@yandex.ru
<http://orcid.org/0000-0002-1279-7534>

Александр Алексеевич Дубков

научный сотрудник
Федеральный научный центр агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки,
Уссурийск, пос. Тимирязевский, Россия
o.zemledelia@yandex.ru
<http://orcid.org/0000-0002-1871-9713>

Алексей Григорьевич Клыков

доктор биологических наук, член-корреспондент РАН, заведующий отделом селекции
и биотехнологии сельскохозяйственных культур
Федеральный научный центр агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки,
Уссурийск, пос. Тимирязевский, Россия

Аннотация. Представлен анализ изменения основных элементов плодородия лугово-бурых отбеленных почв за девять ротаций полевого севооборота в длительном агрохимическом стационарном опыте, заложенном в 1941 г., при применении различных систем удобрений. Исследования показали, что наиболее благоприятный фосфатный режим почвы формируется при использовании комплексных систем с одинарной и двойной дозой NPK и минеральной системы $N_2P_2K_2$. После прекращения внесения удобрений происходит снижение фосфора во всех системах удобрений. Установлено снижение содержания подвижного фосфора с VII по VIII ротацию в комплексной системе Н + И + 2NPK (на 8 %) и в минеральной $N_2P_2K_2$ (на 27,5 %), и с VIII по IX ротацию (на 56 и 65,5 % соответственно). Применение разных систем удобрений оказало положительное влияние на содержание обменного калия в почве до IV ротации, в дальнейшем наблюдается снижение его содержания по всем системам удобрений и в контроле, достигая к IX ротации севооборота наименьших значений за все время исследований (122–152 мг/кг). Исследованиями установлено, что за девять ротаций полевого севооборота произошло заметное снижение содержания гумуса во всех системах удобрений. Потери гумуса в контроле за 71 год исследования составили 87 т/га (1,2 т/га в год). Почва, характеризовавшаяся повышенным содержанием гумуса при закладке опыта, перешла в разряд среднеобеспеченных. Перед закладкой опыта почва имела слабокислую реакцию среды. Наибольшая кислотность почвы отмечена на фоне минеральной системы и в контроле. Применение извести в системе удобрений способствовало уменьшению почвенной кислотности, и к IX ротации почва перешла в разряд близких к нейтральным.

Ключевые слова: система удобрений, известь, навоз, севооборот, фосфор, калий, гумус, агрохимический стационар

Для цитирования: Тимошинов Р.В., Кушаева Е.Ж., Марчук Л.Е., Дубков А.А., Клыков А.Г. Изменение содержания основных элементов питания при последствии разных систем удобрений в длительном агрохимическом стационарном опыте // Вестн. ДВО РАН. 2022. № 3. С. 80–92. http://dx.doi.org/10.37102/0869-7698_2022_223_03_8.

Original article

Changes in the content of the primary macronutrients as an afteraction of different fertilizer management strategies in a long-term stationary agrochemical experiment

R. V. Timoshinov, E. Zh. Kushaeva, L. E. Marchuk, A. A. Dubkov, A. G. Klykov

Roman V. Timoshinov

Candidate of Sciences in Agriculture

Head of the Department of Farming and Agrochemistry Federal Scientific Center of Agrobiotechnology in the Far East named after A. K. Chaika, Ussuriysk, Timiryazevsky village, Russia

fe.smc_rf@mail.ru

<http://orcid.org/0000-0003-3934-396X>

Elena Zh. Kushaeva

Researcher

Federal Scientific Centre of Agrobiotechnology in the Far East named after A.K. Chaika,
Ussuriysk, Timiryazevsky village, Russia

fe.smc_rf@mail.ru

<http://orcid.org/0000-0003-2010-8003>

Lyudmila E. Marchuk

Junior researcher

Federal Scientific Centre of Agrobiotechnology in the Far East named after A.K. Chaika,
Ussuriysk, Timiryazevsky village, Russia

fe.smc_rf@mail.ru

<http://orcid.org/0000-0002-1279-7534>

Alexander A. Dubkov

Researcher

Federal Scientific Centre of Agrobiotechnology in the Far East named after A.K. Chaika,
Ussuriysk, Timiryazevsky village, Russia

fe.smc_rf@mail.ru

<http://orcid.org/0000-0002-1871-9713>

Alexey G. Klykov

Doctor of Science in Biology, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences
Head of the Department of Breeding and Biotechnology of Agricultural Crops

Federal Scientific Centre of Agrobiotechnology in the Far East named after A.K. Chaika,
Ussuriysk, Timiryazevsky village, Russia

fe.smc_rf@mail.ru

<http://orcid.org/0000-0003-2537-9865>

Abstract. This article presents an analysis of changes in the main components of fertility in bleached meadow-brown soils during nine crop rotations. This long-term agrochemical experiment was set up in 1941. Over its course, different fertilizer management strategies were employed. The most favorable phosphate regime of soil was discovered to form when the following management strategies were used: complex strategies with a single and a double dose of NPK and a strategy with the mineral treatment $N_2P_2K_2$. A decrease in the amount of phosphorus was observed in all fertilizer management strategies after the cessation of fertilizer application. The amount of mobile phosphorus decreased in a complex management strategy $M + L + 2NPK$ and in the strategy with the mineral treatment $N_2P_2K_2$ from the 7th to the 8th crop rotation by 8 % and 27.5 %, respectively, and from the 8th to 9th crop rotation by 56 % and 65.5 %, respectively. The use of different fertilizer management strategies had a beneficial effect on the amount of exchangeable potassium in soil until the 4th crop rotation. In the following years, the amount of exchangeable potassium was decreasing in all strategies and in the control variant. By the beginning of the 9th crop rotation, it reached the lowest values ever recorded in this experiment (122–152 mg/kg). The conducted research identified a significant reduction in the humus content in all fertilizer management strategies over the course of nine crop rotations. 87 tons of humus per hectare were lost in the control variant over the 71-year period of the experiment (1.2 t/ha per year). The soil, which was characterized by a high humus content in the beginning of the experiment, became moderately fertile. Before the experiment was set up, the soil was slightly acidic. The highest soil acidity was detected in the strategy with the mineral treatment and in the control variant. Application of agricultural lime resulted in a decrease in the soil acidity. The soil was close to neutral pH by the beginning of the 9th crop rotation.

Keywords: fertilizer management, agricultural lime, manure, crop rotation, phosphorus, potassium, humus, agrochemical stationary experiment

For citation: Timoshinov R.V., Kushaeva E.Zh., Marchuk L.E., Dubkov A.A., Klykov A.G. Changes in the content of the primary macronutrients as an afteraction of different fertilizer management strategies in a long-term stationary agrochemical experiment. *Vestnik of the FEB RAS*. 2022;(3):80-92. (In Russ.). http://dx.doi.org/10.37102/0869-7698_2022_223_03_8.

Одним из основных факторов повышения урожайности сельскохозяйственных культур являются удобрения. В среднем в России минеральные удобрения вносят в дозе 39–40 кг д.в./га. При этом 53 % площади пашни остаются неудобренными [1]. По данным Всемирного банка внесение удобрений в мире составило 136,8 кг на 1 га пахотных земель, в США – 128,8, в Германии – 166,5, в Белоруссии – 156,2, в Японии – 253,7, в Китае – 393,2, в Корее – 369,7 кг [2]. Изменение агрохимических свойств различных агрогенных почв под влиянием удобрений зависит от вида и количества применяемых удобрений [3]. Известно, что наиболее объективную информацию об эффективности удобрений обеспечивают исследования в многолетних стационарных опытах. Они дают возможность оценить не только прямое действие, но и последствие вносимых питательных веществ [4, 5]. Длительные стационарные эксперименты являются уникальной основой для проведения исследований по изучению эффективности удобрений и их влиянию на почвенное плодородие [6, 7].

Целью данного исследования является изучение влияния длительного применения различных систем удобрений и их последствия на изменение плодородия лугово-бурой отбеленной почвы Приморского края.

Материалы и методы исследований

Исследования проведены на поле № 3 агрохимического стационара, założенного в 1941 г. на базе девятипольного севооборота ФНЦ агроботехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки на лугово-бурой отбеленной почве. I ротация на данном поле началась в 1948 г., в 2022 г. идет четвертый год IX ротации. В работе представлены результаты анализов почвенных образцов, отобранных в начале IV, VII–IX ротаций севооборота, когда проводилось наиболее полное агрохимическое обследование почвы. Периоды прохождения ротаций следующие: I. 1948–1956 гг.; IV. 1974–1982 гг.; VII. 2001–2009 гг.; VIII. 2010–2018 гг.; IX. 2019–2027 гг. Системы удобрений, взятые для изучения, включали раздельное внесение навоза, извести и минеральных удобрений (в одинарных и двойных дозах), а также их различные сочетания. Схема опыта: 1. Контроль (без удобрений); 2. Навоз; 3. Навоз + известь; 4. Навоз + известь + 1NPK; 5. Навоз + известь + 2NPK; 6. Известь + 1NPK; 7. 2NPK. Навоз и известь вносили в занятом пару (т/га) в начале каждой ротации севооборота, минеральные удобрения (кг д.в.) – ежегодно под предпосевную культивацию. В VII ротации применение навоза, извести и минеральных удобрений было исключено, а в севооборот было дополнительно введено поле бобовых многолетних трав (клевера лугового). В результате поступление органического вещества в почву стало осуществляться за счет заправки зеленой массы клевера на сидерат (одно поле), пожнивных и корневых остатков клевера (второе поле), пшеницы и сои (табл. 1).

С VIII ротации начато изучение длительности последствие различных систем удобрений, применяемых в течение семи ротаций севооборота (удобрения не вносятся). Общий объем внесенных удобрений за весь период наблюдений см. в табл. 2.

Чередование культур в севообороте по ротациям в агрохимическом стационаре

Год ротации	Ротация				
	I	II	III-IV	V-VII	VIII-IX
1-й	Пар черный	Пар сидеральный соевый	Пар сидеральный клеверный	Пар занятый	Пар сидеральный клеверный
2-й	Пшеница	Пшеница + подсев многолетних трав	Кукуруза	Кукуруза	Соя
3-й	Овес + травы	Многолетние травы 1-го года	Пшеница + подсев многолетних трав	Пшеница (овес)	Пшеница
4-й	Многолетние травы 1-го года	Многолетние травы 2-го года	Многолетние травы 1-го года	Соя	Соя
5-й	Многолетние травы 2-го года	Соя	Многолетние травы 2-го года	Пшеница + подсев многолетних трав	Пшеница + подсев многолетних трав
6-й	Пшеница	Пшеница	Соя	Многолетние травы 1-го года	Пар клеверный
7-й	Соя	Соя	Пшеница	Соя	Пшеница
8-й	Пшеница	Пшеница	Соя	Ячмень	Соя
9-й	Овес	Овес + многолетние травы	Пшеница	Соя	Пшеница + подсев многолетних трав

Количество внесенных на 1 га удобрений с I по VII ротацию севооборота (1948–2001 гг.)

Вариант	Навоз, т	Известь, т	N, кг д.в.	P, кг д.в.	K, кг д.в.
Контроль (без удобрений)	0	0	0	0	0
Навозная система, N ₄₀	260	0	0	0	0
Навозно-известковая система, N ₄₀ + И _{4,5}	260	18	0	0	0
Комплексная система с одинарной дозой NPK, N ₄₀ + И _{4,5} + 1NPK	260	18	1489	1995	1305
Комплексная система с двойной дозой NPK, N ₄₀ + И _{4,5} + 1NPK	260	18	2978	3985	2610
Известково-минеральная система, И _{4,5} + 1NPK	0	18	1399	1865	1215
Минеральная система, 2NPK	0	0	2933	2990	2630

Результаты исследований

Фосфор

По данным большинства отечественных ученых, содержание подвижного фосфора в почве является характерным признаком ее плодородия, а повышение обеспеченности фосфором (вычисляется в пересчете на P₂O₅) – показателем роста окультуренности [8].

Проведенными ранее исследованиями установлено, что в почвах дерново-подзолистого типа Приморья содержание фосфора мало. При этом основная часть кислоторастворимых фосфатов, 80–90 %, представлена в форме связанных полуторных оксидов, и только 10–20 % – в растворимой и доступной для растений форме. Поэтому на дерново-подзолистых почвах сельскохозяйственные культуры так остро нуждаются в фосфорном питании.

Известно, что наряду с прямым действием удобрений, т.е. в год внесения, они обладают значительным последствием, которое может продолжаться не один год. Установлено, что среди минеральных удобрений наибольшее последствие свойственно фосфорным удобрениям, эффективность и продолжительность которого определяются содержанием подвижного фосфора в почве [8].

До закладки агрохимического стационарного опыта в 1948 г. содержание P₂O₅ в почве было низким – 26,2 мг/кг (рис. 1). К IV ротации севооборота в контрольном варианте (без внесения удобрений) оно снизилось в 2,2 раза и оценивалось как очень низкое. В дальнейшем, в VII–IX ротациях, отмечена относительная стабилизация этого показателя: использование в севообороте клевера лугового, запашка его зеленой массы на сидерат, а также корневых и пожнивных остатков клевера, сои и пшеницы позволяют поддерживать содержание подвижного фосфора. Органическая система удобрений (N₄₀) не обеспечивала повышения содержания P₂O₅, отмечено незначительное его увеличение под действием органо-известковой системы удобрений к IV ротации севооборота, а под действием известково-минеральной системы наблюдается положительная динамика накопления доступных форм фосфора до повышенного уровня. Наиболее благоприятный фосфатный режим почвы к VII ротации формируется при использовании комплексной системы с одинарной дозой NPK (высокое содержание P₂O₅), комплексной системы

с двойной дозой NPK и минеральной $N_2P_2K_2$ (очень высокое содержание P_2O_5). Однако после прекращения внесения удобрений к VIII ротации происходит снижение его содержания в органо-известковой системе Н + И, в комплексной Н + И + 2NPK и в минеральной $N_2P_2K_2$, а в IX ротации – резкое снижение во всех без исключений системах удобрений. Снижение содержания подвижного фосфора от VII к VIII ротации в комплексной системе Н + И + 2NPK и в минеральной $N_2P_2K_2$ составило 8 и 27,5 % соответственно, а от VIII к IX – 56 и 65,5 % соответственно.

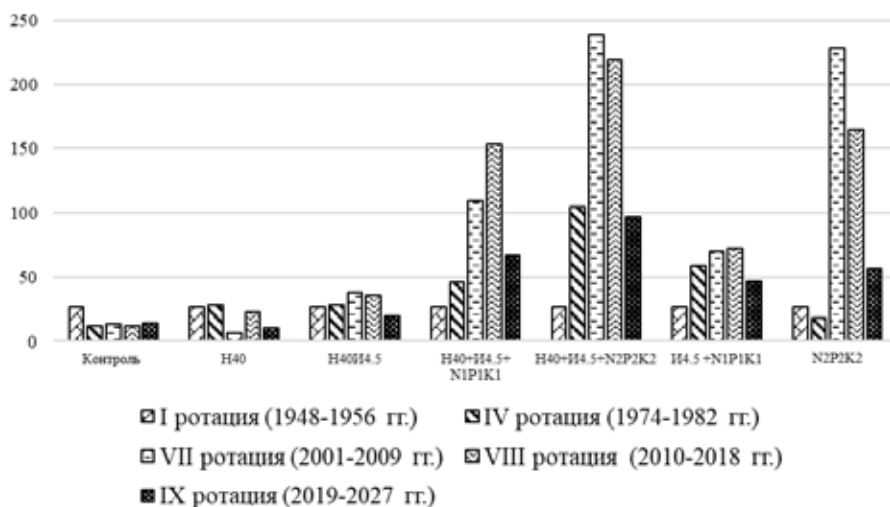


Рис. 1. Изменение содержания P_2O_5 в почве по ротациям севооборота, мг/кг почвы

Фосфор в почве находится в органических и минеральных малоподвижных соединениях. В процессе минерализации органического вещества часть фосфора переходит в доступную для растений форму, поэтому органическое вещество почвы является потенциальным резервом подвижного фосфора. Установлено, что применение в качестве основного удобрения навоза не способствует расширенному воспроизводству P_2O_5 в пахотном слое почвы, а лишь поддерживает его баланс на стабильном уровне. Такая же закономерность характерна для органо-известковой системы удобрений [9].

Последствие минеральных удобрений прослеживается до настоящего времени. В тех вариантах, где в течение семи ротаций севооборота вносились удобрения, содержание подвижного фосфора было выше, в отличие от очень низкого в варианте без внесения минеральных удобрений. Можно предположить, что последствие минеральных удобрений будет продолжаться до тех пор, пока содержание подвижного фосфора не снизится до одинаковых значений во всех вариантах.

Калий

Калий – важный элемент питания, который играет ключевую роль в различных физиологических и биохимических функциях растений. В тяжелых почвах калия больше, так как он входит в минералы, представленные главным образом в глинистых частицах. Основу калийного фонда образует калий почвенного скелета, который входит в состав труднорастворимых почвенных минералов. Все калийсодержащие минералы в той или иной степени могут служить источником питания

растений [10–12]. По уровню потребления основных питательных элементов калию принадлежит первое место [13].

Почвы дерново-подзолистого типа наиболее богаты доступным для растений калием. При этом следует отметить, что чем выше кислотность, тем больше его содержится в почве пахотного слоя и, наоборот, с понижением кислотности почвенного раствора уменьшается и количество доступного калия [14].

Первоначальное содержание K_2O в почве в контрольном варианте без удобрений было достаточно высоким – 148 мг/кг (рис. 2).

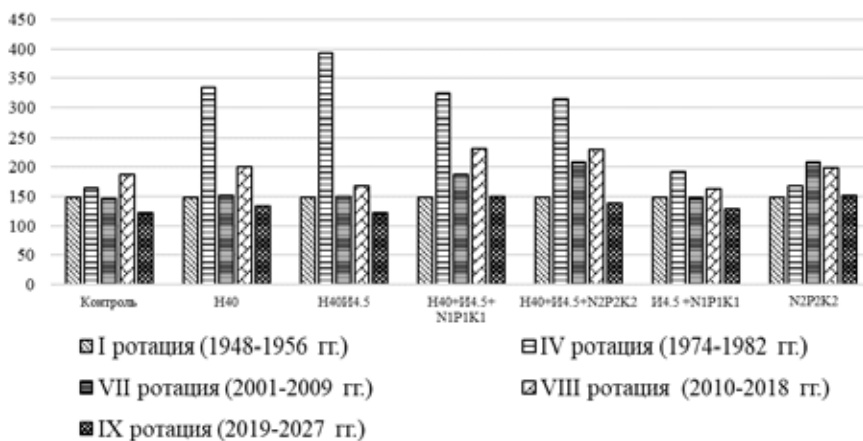


Рис. 2. Изменение содержания K_2O в почве по ротациям севооборота, мг/кг почвы

По шкале оценки агрохимических показателей почва с повышенным содержанием K_2O (121–170 мг/кг) относится к 4-му классу. К IV ротации севооборота его содержание в контроле повысилось до 164 мг/кг (что в пределах того же класса), к VII – вернулось к первоначальному значению, к VIII – увеличилось до высокого, а к IX стало ниже на 34,8 %, чем в предыдущую ротацию, или на 17,6 % по сравнению с первоначальным значением.

Применение разных систем удобрений оказало положительное влияние на содержание обменного калия в почве вплоть до VIII ротации, несмотря на то что в VII ротации было прекращено внесение удобрений, вероятно, благодаря тому, что запасы обменного калия находились в динамическом равновесии с его необменными формами в почве. По мере потребления обменного калия растениями его запасы пополняются за счет необменных форм [15, 16]. Максимальное его содержание было достигнуто в IV ротации. В дальнейшем наблюдалось снижение содержания калия по всем системам удобрений, достигая к IX ротации севооборота наименьших значений за все время исследований (122–152 мг/кг), приблизившись к первоначальному содержанию до закладки опыта (4-й класс почв – с повышенным содержанием K_2O).

Гумус

Гумус считают одним из главных показателей плодородия почв. Благодаря уникальному сочетанию комплекса органических веществ, взаимодействующих между собой и минеральной частью почвы, он влияет на агрофизические, химические

и водно-физические свойства почв. Содержание гумуса в пахотном горизонте всегда меньше, чем в целинных почвах. Анализ многочисленных исследований органического вещества почв свидетельствует о снижении содержания гумуса в связи с распашкой и сельскохозяйственным использованием земель практически по всем почвенно-климатическим зонам Приморского края. Считается, что после 50–75 лет сельскохозяйственного использования без применения органических удобрений и травосеяния почвы утрачивают запасы гумуса на 20–50 % [17].

Исследования, проведенные в условиях многолетнего агрохимического стационарного опыта, позволили детально проанализировать изменения содержания гумуса в антропогенно преобразованной почве в процессе ее использования. Так, перед закладкой опыта почва характеризовалась достаточно высоким содержанием гумуса – 5,99 % (рис. 3). В соответствии с грациями агрохимических свойств почв Приморского края, по этому показателю она относилась к 5-му классу, к IV ротации севооборота без дополнительного внесения удобрений содержание гумуса в пахотном горизонте в контрольном варианте снизилось на 1,93 % до 4,06 %. То есть за три ротации сельскохозяйственного использования почвы потери гумуса составили 57,9 т/га (2,14 т/га в год). За следующий 27-летний период (IV–VI ротации) значительных изменений не произошло, и к VII ротации во всех изучаемых вариантах наблюдается выравнивание содержания гумуса, который находится в пределах 4,04–4,18 %. Основными источниками восстановления гумуса пахотных почв в условиях полевого севооборота являются клеверный сидерат, послеуборочные остатки и корневая масса возделываемых сельскохозяйственных культур. В VIII и IX ротациях в контроле наблюдается уменьшение содержания гумуса на 0,44 и 0,51 % (потери 13,2 и 15,3 т/га соответственно).

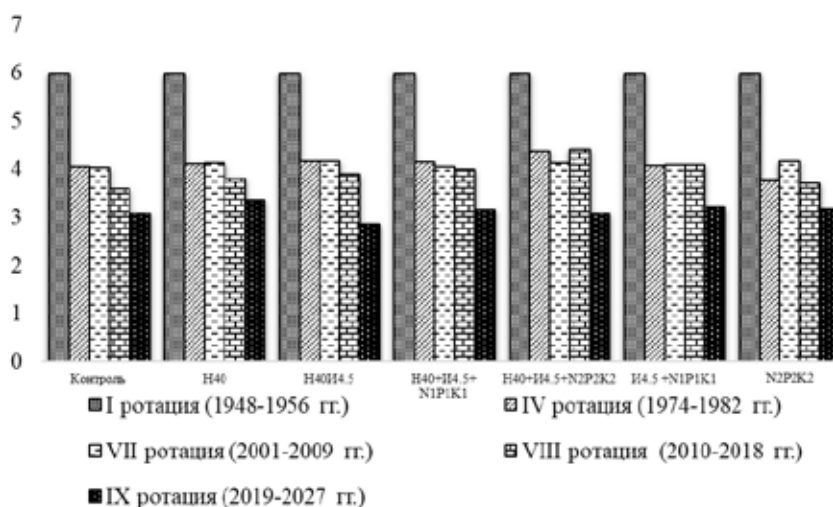


Рис. 3. Изменение содержания гумуса в почве по ротациям севооборота, %

В VIII ротации севооборота наибольшее снижение содержания гумуса произошло на фоне минеральной системы (до 3,7 %, в контрольном варианте до 3,6 %). Более заметное снижение произошло в IX ротации, через 18 лет после прекращения применения удобрений, во всех изучаемых вариантах наибольшее снижение – на 1,32 % по сравнению с VIII ротацией – отмечено в комплексной системе удобрений.

В целом анализ действия разных систем удобрений свидетельствует о снижении содержания гумуса за период исследований вне зависимости от применения разных систем удобрения. Почва, характеризовавшаяся повышенным содержанием гумуса при закладке опыта, перешла в разряд среднеобеспеченных.

Кислотность почв

Почвы Приморского края в основном относятся к кислым и слабокислым, что является одним из главных факторов, тормозящих получение высоких и стабильных урожаев. От реакции почвенной среды зависит доступность многих питательных веществ, особенно подвижного фосфора и обменного калия, а также органического вещества [18]. Перед закладкой опыта почва имела слабокислую реакцию среды $pH_{\text{кол}} 5,2$ (рис. 4). К IV ротации севооборота отмечено значительное увеличение почвенной кислотности в контроле и на фоне минеральной системы (на 0,8 единиц pH) за счет использования физиологически кислых минеральных удобрений, выноса и вымывания кальция и магния из почвы и замещения их ионами водорода. Применение извести в системе удобрений способствовало уменьшению почвенной кислотности на 0,7–1,1 единицы pH. К VII ротации во всех вариантах наблюдается некоторое снижение почвенной кислотности по сравнению с IV ротацией севооборота. В VIII ротации отмечены незначительные изменения $pH_{\text{кол}}$. В IX ротации севооборота во всех вариантах опыта наблюдается снижение почвенной кислотности. Наибольшая кислотность отмечена на фоне минеральной системы и в контроле. Положительное действие извести прослеживается во всех вариантах опыта с ее применением в течение всего периода исследований и после прекращения ее внесения, в этих вариантах почва в IX ротации из разряда слабокислых перешла в разряд близких к нейтральным. Следует отметить, что на изменение кислотности почвы влияют не только применяемые минеральные и органические удобрения, но и природно-климатические условия, так как в контрольном варианте отклонение от первоначального значения доходило до 0,8 единиц pH в IV ротации севооборота с последующим возвращением к первоначальному значению в IX ротации севооборота.

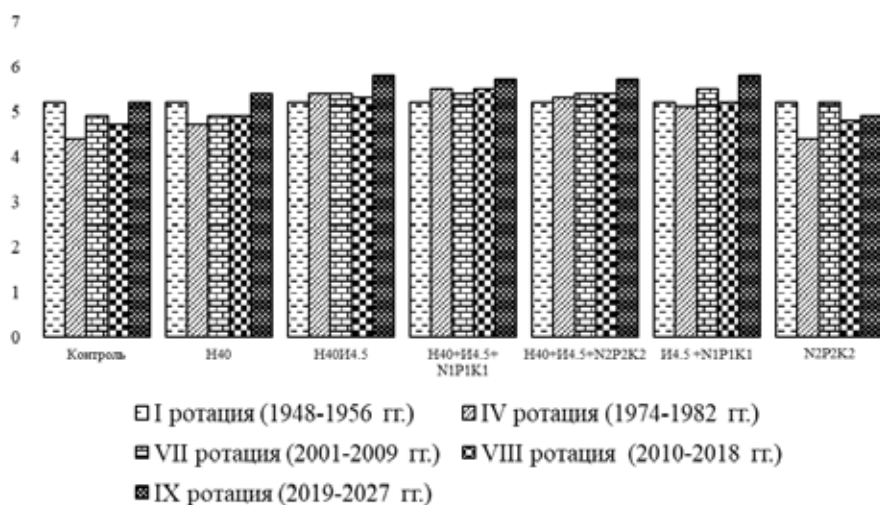


Рис. 4. Изменение содержания $pH_{\text{кол}}$ в почве по ротациям севооборота, ед. pH

Заклучение

Результаты длительного полевого агрохимического стационарного опыта с изучением 53-летнего действия и 18-летнего последействия систем удобрений (органической, органо-известковой, комплексных, известково-минеральной и минеральной) на лугово-бурой отбеленной почве в условиях Приморского края показали, что в контроле без внесения удобрений в течение 27 лет (I–III ротации) в почве происходит снижение в 2,2 раза содержания подвижного фосфора, в дальнейшем наблюдается относительная стабильность. Использование в севообороте клевера лугового, запашка его зеленой массы на сидерат, а также корневых и пожнивных остатков клевера, сои и пшеницы позволяют сохранять содержание подвижного фосфора на стабильном уровне. Органическая система удобрений (H_{40}) не обеспечивает повышения содержания фосфора в почве, а под действием известково-минеральной системы (известь + 1NPK) наблюдается положительная динамика накопления доступных форм фосфора до повышенного уровня. При этом наиболее благоприятный фосфатный режим почвы формируется при использовании комплексной системы с одинарной дозой NPK (высокое содержание P_2O_5), комплексной системы с двойной дозой NPK и минеральной $N_2P_2K_2$ (очень высокое содержание P_2O_5).

Применение систем удобрений оказало положительное влияние на содержание обменного калия в почве, а максимум (очень высокое содержание) был достигнут в IV ротации. После прекращения внесения удобрений происходит снижение содержания калия по всем системам удобрений и в контрольном варианте, достигая к IX ротации севооборота наименьших значений за все время исследований (122–152 мг/кг) и приближаясь к первоначальному его содержанию до закладки опыта.

Проведенный анализ действия и последействия разных систем удобрений свидетельствует о снижении содержания гумуса за период исследований вне зависимости от применения разных систем удобрения. Почва, характеризовавшаяся повышенным содержанием гумуса при закладке опыта, перешла в разряд среднеобеспеченных. К IV ротации севооборота, т.е. за три ротации сельскохозяйственного использования почвы, количество гумуса в почве без дополнительного внесения удобрений уменьшилось на 1,93 %, а его потери составили 57,9 т/га. В VIII и IX ротациях в контроле наблюдалось уменьшение содержания гумуса на 0,44 и 0,51 %, а потери гумуса составили 13,2 и 15,3 т/га соответственно. Наибольшее снижение гумуса произошло в IX ротации, через 18 лет после прекращения применения удобрений, во всех изучаемых вариантах.

Применение извести в системе удобрений способствует уменьшению почвенной кислотности. В контроле и на фоне минеральной системы к IV ротации севооборота происходит значительное увеличение почвенной кислотности за счет использования физиологически кислых минеральных удобрений. На изменение кислотности почвы влияют не только применяемые минеральные и органические удобрения, но и природно-климатические условия и возделываемые в севообороте сельскохозяйственные культуры.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Волянкина О.В. Предельные прибавки урожайности сельскохозяйственных культур от азота и его окупаемость на среднесуглинистом выщелоченном черноземе. Сообщ. 1 // Плодородие. 2021. № 2. С. 9–13. DOI: 10.25680/S19948603.2021.119.03.

2. Показатели мирового развития. – <https://databank.worldbank.org/reports.aspx?dsid=2&series=AG.CON.FERT.ZS> (дата обращения 10.02.2022).
3. Шеуджен А.Х., Нешадим Н.Н., Онищенко Л.М. Органическое вещество почвы и его экологические функции. Краснодар: Куб. ГАУ, 2011. 202 с.
4. Шеуджен А.Х., Онищенко Ю.А., Исупова Ю.А. Агрохимические свойства чернозема выщелоченного при длительном применении удобрений // Состояние и пути повышения эффективности исследований в системе географической сети опытов с удобрениями: материалы Всерос. конф. учреждений-участников Географ. сети опытов с удобрениями, 26–27 июня 2012 г. М.: ВНИИА, 2012. С. 10–13.
5. Моисеенко А.А., Тимошинов Р.В., Кушаева Е.Ж. Изменение свойств почвы и продуктивности севооборота в результате длительного применения разных систем удобрений в условиях Приморского края // Результаты длительных исследований в системе географической сети опытов с удобрениями Российской Федерации. Вып. 2 / под ред. В.Г. Сычева. М.: Россельхозакадемия: ВНИИА, 2012. С. 221–246.
6. Налиухин А.Н. 80 лет Географической сети опытов с удобрениями // Плодородие. 2021. № 3. С. 6–8.
7. Timoshinov R., Kushaeva E., Marchuk L., Dubkov A., Klykov A. The dynamics of the main fertility elements content in a long-term agrochemical stationary experiment // Lecture Notes in Networks and Systems. 2022. Vol. 353. P. 469-478. DOI: 10.1007/978-3-030-91402-8_53.
8. Бюллетень Географической сети опытов с удобрениями. Вып. 10. Эффективность фосфорных удобрений на почвах России и основные направления исследований Геосети по агрохимии фосфора. М.: ВНИИА, 2010. 48 с.
9. Шевченко В.А., Соловьев А.М., Бондарева Г.И., Попова Н.П. Динамика содержания подвижного фосфора в зависимости от системы удобрения и предшественников при освоении залежных земель // Плодородие. 2020. № 5. С. 3–7. DOI: 10.25680/S19948603.2020.116.01.
10. Якименко В.Н. Формы калия в почве и методы его определения // Почвы и окружающая среда. 2018. Т. 1, № 1. С. 25–31.
11. Якименко В.Н. Изменение содержания калия и магния в профиле почвы длительного полевого опыта // Агрохимия. 2019. № 3. С. 19–29.
12. Завьялова Н.Е., Васбиева М.Т., Шишков Д.Г., Дир Е.С. Калийное состояние дерново-подзолистой почвы длительного стационарного опыта в условиях Предуралья // Плодородие. 2021. № 4. С. 43–47. DOI: 10.25680/S19948603.2021.121.13.
13. Белослудцев Д.В., Исупов А.Н., Башков А.С. Изменение калийного состояния почвы при длительном применении минеральных удобрений на фоне последовательного известкования // Плодородие. 2021. № 1. С. 33–36. DOI: 10.25680/S19948603.2021.118.10.
14. Гришун А.Т. Применение удобрений в Приморском крае. Владивосток: Дальневост. кн. изд-во, 1964. 439 с.
15. Жукова Л.М., Никитина Л.В. Калийный режим почв степной, сухостепной и пустынной зон // Агрохимия. 1986. № 12. С. 24–29.
16. Чуб М.П., Сайфулина Л.Б., Пронько В.В., Ярошенко Т.М., Климова Н.Ф. Плодородие чернозема южного и продуктивность зернопарового севооборота при длительном применении минеральных удобрений // Агрохимия. 2010. № 7. С. 3–13.
17. Синельников Э.П. Оптимизация свойств и режимов периодически переувлажняемых почв: монография / ДВО ДОП РАН, Приморская ГСХА. Уссурийск, 2000. 296 с.
18. Гладышева О.В., Свирина В.А., Артюхова О.А. Изменение плодородия почвы и продуктивности севооборота при длительном применении минеральных удобрений с известкованием // Плодородие. 2021. № 1. С. 27–29. DOI: 10.25680/S19948603.2021.118.08.

REFERENCES

1. Voly`nkina O.V. Predel`nye pribavki urozhainosti sel`skokhozyaistvenny`kh kul`tur ot azota i ego okupaemost` na srednesuglinistom vy`shchelochennom chernozeme. 1. *Ploodorodie*. 2021;(2):9-13. DOI: 10.25680/S19948603.2021.119.03. (In Russ.).
2. Pokazateli mirovogo razvitiya. – <https://databank.worldbank.org/reports.aspx?dsid=2&series=AG.CON.FERT.ZS> (cited 2022 Feb 10).

3. Sheudzhen A.X., Neshhadim N.N., Onishhenko L.M. Organicheskoe veshchestvo pochvy i ego ekologicheskie funktsii. Krasnodar: Kuban State Agrarian Univ.; 2011. 202 p. (In Russ.).
4. Sheudzhen A.X., Onishhenko Yu.A., Isupova Yu.A. Agrokhimicheskie svoystva chernozema vyshchelochennogo pri dlitel'nom primenenii udobrenii. In: *Sostoyanie puti povysheniya effektivnosti issledovaniy v sisteme geograficheskoi seti opytov s udobreniyami*. M.: All-Russian Research Institute of Agrochemistry; 2012. P. 10-13. (In Russ.).
5. Moiseenko A.A., Timoshinov R.V., Kushaeva E.Zh. Izmenenie svoystv pochvy i produktivnosti sevooborota v rezul'tate dlitel'nogo primeneniya raznykh system udobrenii v usloviyakh Primorskogo kraya. In: *Sychev V.G. (ed.). Rezul'taty dlitel'nykh issledovaniy v sisteme geograficheskoi seti opytov s udobreniyami Rossiiskoi Federatsii*. Iss. 2. Moscow: Russian Academy of Agricultural Sciences: All-Russian Research Institute of Agrochemistry; 2012. P. 221-246. (In Russ.).
6. Naliuxin A.N. 80 let Geograficheskoi seti opytov s udobreniyami. *Plodorodie*. 2021;(3):6-8. (In Russ.).
7. Timoshinov R., Kushaeva E., Marchuk L., Dubkov A., Klykov A. The dynamics of the main fertility elements content in a long-term agrochemical stationary experiment. *Lecture Notes in Networks and Systems*. 2022;353:469-478. DOI: 10.1007/978-3-030-91402-8_53.
8. Byulleten' Geograficheskoi seti opytov s udobreniyami. Iss. 10. Effektivnost' fosfornykh udobrenii na pochvax Rossii i osnovnye napravleniya issledovaniy Geoseti po agrokhimii fosfora. Moscow: All-Russian Scientific Research Institute of Agrochemistry; 2010. 48 p. (In Russ.).
9. Shevchenko V.A., Solov'ev A.M., Bondareva G.I., Popova N.P. Dinamika sodержaniya podvizhnogo fosfora v zavisimosti ot sistemy udobreniya i predshestvennikov pri osvoenii zaleznykh zemel. *Plodorodie*. 2020;(5):3-7. DOI: 10.25680/S19948603.2020.116.01. (In Russ.).
10. Yakimenko V.N. Formy' kaliya v pochve I metody ego opredeleniya. *Pochvy i okruzhayushchaya sreda*. 2018;1(1):25-31. (In Russ.).
11. Yakimenko V.N. Izmenenie sodержaniya kaliya i magniya v profile pochvy dlitel'nogo polevogo opyta. *Agrokhiimiya*. 2019;(3):19-29. (In Russ.).
12. Zav'yalova N.E., Vashieva M.T., Shishkov D.G., Dir E.S. Kaliinoe sostoyanie derno-podzolistoi pochvy dlitel'nogo statsionarnogo opyta v usloviyakh Predural'ya. *Plodorodie*. 2021;(4):43-47. DOI: 10.25680/S19948603.2021.121.13. (In Russ.).
13. Belosludcev D.V., Isupov A.N., Bashkov A.S. Izmenenie kaliinogo sostoyaniya pochvy pri dlitel'nom primenenii mineral'nykh udobrenii na fone posledestviya izvestkovaniya. *Plodorodie*. 2021;(1):33-36. DOI: 10.25680/S19948603.2021.118.10. (In Russ.).
14. Griczun A.T. Primenenie udobrenii v Primorskom krae. Vladivostok: Dal'nevostochnoe knizhnoe izdatel'stvo; 1964. 439 p. (In Russ.).
15. Zhukova L.M., Nikitina L.V. Kaliinyi rezhim pochv stepnoi, sukhostepnoi i pustynnoi zon. *Agrokhiimiya*. 1986;(12):24-29. (In Russ.).
16. Chub M.P., Saifulina L.B., Pron'ko V.V., Yaroshenko T.M., Klimova N.F. Plodorodie chernozema yuzhnogo i produktivnost' zernoparovogo sevooborota pri dlitel'nom primenenii mineral'nykh udobrenii. *Agrokhiimiya*. 2010;(7):3-13. (In Russ.).
17. Sinel'nikov E.P. Optimizatsiya svoystv i rezhimov periodicheskii pereuvlazhnyaemykh pochv: monogr. Ussurijsk; 2000. 296 p. (In Russ.).
18. Gladysheva O.V., Svirina V.A., Artyuxova O.A. Izmenenie plodorodiya pochvy i produktivnosti sevooborota pri dlitel'nom primenenii mineral'nykh udobrenii s izvestkovaniem. *Plodorodie*. 2021;(1):27-29. DOI: 10.25680/S19948603.2021.118.08 (In Russ.).