

Влияние кальциевой селитры на продуктивность картофеля и состояние почвы в лесостепи Челябинской области

Александр Анатольевич Васильев, Денис Юрьевич Нохрин, Наталья Алексеевна Давыдова

Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

e-mail: kartofel_chel@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрены результаты полевых опытов по изучению влияния кальция на формирование планируемой урожайности и качество клубней картофеля в условиях Челябинской области. В задачи исследования входила оценка влияния минеральных удобрений на агрохимические свойства почвы. Доказано, что применение сбалансированных норм минеральных удобрений в расчете на планируемый урожай 40 т/га (как с кальцием, так и без него) оказывает существенное влияние на режим минерального питания растений. Внесение кальция повышает адаптивную способность растений к условиям засухи, при этом усиление азотного питания картофеля наблюдается в первой половине вегетации, а фосфорного и калийного питания в течение всей вегетации. Как следствие этого, в варианте ($N_{130}P_{150}K_{130}Ca_{158}$) с внесением кальция отмечается наибольшая урожайность (+41,3 % к контролю) и товарность клубней (+5,1 %), а также высокое качество продукции, тогда как в варианте без кальция ($N_{130}P_{150}K_{130}$) наблюдается снижение содержания в клубнях сухого вещества на 1,7 %, а крахмала – на 0,99 % по сравнению с контролем (без удобрений).

Ключевые слова: картофель; кальциевая селитра; урожайность; почвенное плодородие.

Для цитирования: Васильев А. А., Нохрин Д. Ю., Давыдова Н. А. Влияние кальциевой селитры на продуктивность картофеля и состояние почвы в лесостепи Челябинской области // Аграрный научный журнал. 2023. № 6. С. 4–11. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2023i6pp4-11>.

AGRONOMY

Original article

Influence of calcium nitrate on potato productivity and soil condition in the forest-steppe of the Chelyabinsk region

Aleksandr A. Vasiliev, Denis Yu. Nokhrin, Natalya A. Davydova

Ural Federal Agrarian Research Center UB RAS, Ekaterinburg, Russia

e-mail: kartofel_chel@mail.ru

Abstract. The article discusses the results of field experiments to study the effect of calcium on the formation of the planned yield and quality of potato tubers in the conditions of the Chelyabinsk region. The objectives of the study included assessing the effect of mineral fertilizers on the agrochemical properties of the soil. It has been proven that the use of balanced norms of mineral fertilizers based on a planned yield of 40 t/ha (both with calcium and without it) has a significant impact on the mineral nutrition regime of plants. The introduction of calcium increases the adaptive ability of plants to drought conditions, while an increase in nitrogen nutrition of potatoes is observed in the first half of the growing season, and phosphorus and potassium nutrition throughout the growing season. As a result, in the variant ($N_{130}P_{150}K_{130}Ca_{158}$) with the introduction of calcium, the highest yield (+41.3% of the control) and the marketability of tubers (+5.1%), as well as high product quality, are observed, while in the variant without calcium ($N_{130}P_{150}K_{130}$) a decrease in the content of dry matter in tubers by 1.7%, and starch – by 0.99% compared with the control (without fertilizers).

Keywords: potatoes; calcium nitrate; productivity; soil fertility.

For citation: Vasiliev A.A., Nokhrin D.Yu., Davydova N.A. Influence of calcium nitrate on potato productivity and soil condition in the forest-steppe of the Chelyabinsk region. Agrarnyy nauchnyy zhurnal = The Agrarian Scientific Journal. 2023;(6):4–11. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2023i6pp4-11>.





Введение. Кальций, обуславливающий структурную и физиологическую стабильность растительного организма, справедливо относят к важнейшим элементам минерального питания картофеля. Кальций стимулирует рост и развитие корневой системы, принимает участие в процессах транспорта сахаров, регулирует ферментную активность и, как следствие, способствует процессам фотосинтеза. Достаточная обеспеченность кальцием способствует формированию прочных клеточных стенок и мембран, что предотвращает повреждение клубней при уборке и транспортировке. Кроме того, кальций стимулирует усвоение азота, повышает устойчивость растений к стрессам абиотического и биотического характера [1, 2]. Поэтому при разработке систем удобрений важно учитывать не только потребность картофеля в основных элементах питания (азот, фосфор и калий), но и снабжать его достаточным количеством кальция [3]. Особенно важно это делать при разработке сортовых технологий возделывания картофеля, так как известно, что разные сорта имеют различную реакцию на приемы агротехники [4–6].

Цель исследований – изучить влияние применения кальциевой селитры на формирование планируемой урожайности картофеля в условиях лесостепной зоны Челябинской области.

Методика исследований. Исследования проведены в 2020–2022 гг. в полевом опыте отдела картофелеводства ЮУНИИСК – филиала ФГБНУ УрФАНЦ УрО РАН в рамках выполнения государственного задания по теме: «Создание и усовершенствование адаптивных технологий возделывания и переработки экономически значимых сельскохозяйственных культур на основе оптимизации биотических и абиотических факторов» (№ 0532-2021-0001). Объектом исследований служили растения картофеля сорта Захар и их реакция на применение минеральных удобрений.

Схема опыта: 1) контроль (без удобрений); 2) кальциевая селитра в расчете по азоту на урожай 40 т/га ($N_{130}Ca_{158}$); 3) минеральные удобрения в расчете на урожай 40 т/га (в среднем за 3 года – $N_{130}P_{150}K_{130}$); 4) минеральные удобрения в расчете на урожай 40 т/га + кальций ($N_{130}P_{150}K_{130}Ca_{158}$).

По годам исследований норма внесения удобрений в четвертом варианте в расчете на планируемую урожайность клубней 40 т/га составила в 2020 г. – $N_{124}P_{165}K_{100}Ca_{152}$, в 2021 г. – $N_{145}P_{142}K_{170}Ca_{177}$, в 2022 г. – $N_{120}P_{144}K_{120}Ca_{146}$, а в среднем за 3 года – $N_{130}P_{150}K_{130}Ca_{158}$.

Почва опытного участка – чернозем выщелоченный среднесуглинистый, характеризующийся сильноокислой реакцией почвенного раствора, высоким содержанием легкогидролизуемого азота (по Тюрину и Кононовой), низким содержанием подвижного фосфора (по Чирикову), высоким или очень высоким содержанием обменного калия (по Чирикову).

Предшественник картофеля – чистый пар. Посадку проводили при температуре почвы на глубине посадки 7 °С: 6 мая 2020 г., 16 мая 2021 г. и 6 мая 2022 г. Для посадки использовали клубни сорта Захар (среднеспелый) массой 30–50 г. Схема посадки 75×27 см. Глубина посадки – 6–8 см. Уборка – 10–13 сентября, учет урожая весовой. Повторность опыта 3-кратная. Размещение вариантов рендомизированное. Площадь делянки – 27 м² (3×9 м). Обработку экспериментальных данных проводили методом дисперсионного анализа [7].

Метеорологические условия в годы исследований были неблагоприятны для возделывания картофеля. По гидротермическому коэффициенту вегетационный период 2020 г. признан недостаточно влажным (ГТК = 0,85), 2021 г. – очень засушливым (ГТК = 0,39), а 2022 г. – засушливым (ГТК = 0,68).

Результаты исследований. Урожайность картофеля на контроле (без удобрений) в среднем за 3 года составила 17,27 т/га. Применение минеральных удобрений в расчете на планируемый урожай 40 т/га ($N_{130}P_{150}K_{130}$) обеспечило в условиях дефицита влаги одинаковый результат, что и внесение кальциевой селитры в расчете по азоту на урожай клубней 40 т/га ($N_{130}Ca_{158}$) – 22,47 и 22,38 т/га соответственно. Данная закономерность прослеживалась во все годы исследований (табл. 1).

Полная доза минеральных удобрений, рассчитанная на урожай 40 т/га, где азот поступал в почву в форме кальциевой селитры ($N_{130}P_{150}K_{130}Ca_{158}$), увеличивала урожай клубней на 2,02 т/га по сравнению с вариантом $N_{130}Ca_{158}$, однако данное увеличение находилось в пределах ошибки опыта ($НСР_{05} = 2,22$). Так как дополнительное внесение фосфорно-калийных удобрений не обеспечивало достоверного увеличения урожая клубней, наши исследования подтвердили вывод о том, что «азот – главный элемент минерального питания растений и плодородия почвы [8, 9]. Так, в опыте Т. Н. Лебедевой и В. И. Никитишен [10] фосфорно-калийные удобрения ($P_{90}K_{90}$) не оказывали влияния на урожайность картофеля на серой лесной почве Тульской области. В среднем за 2010–2012 гг. в варианте без применения удобрений урожайность клубней составила 18,1 т/га, в варианте $P_{90}K_{90}$ – 18,0 т/га, $N_{90}P_{90}K_{90}$ – 21,8 т/га.

**Влияние минеральных удобрений на продуктивность картофеля сорта Захар
в условиях лесостепной зоны Челябинской области**

Вариант опыта	Количество клубней, шт./куст*	Средняя масса клубней, г*	Урожайность, т/га				Прибавка урожая, т/га
			2020 г.	2021 г.	2022 г.	среднее	
Без удобрений (к)	6,70	49,8	19,30	15,14	17,37	17,27	—
$N_{130}Ca_{158}$	7,87	56,0	23,51	23,91	19,73	22,38	5,09
$N_{130}P_{150}K_{130}$	7,78	57,3	23,42	23,95	20,05	22,47	5,20
$N_{130}P_{150}K_{130}Ca_{158}$	8,18	58,1	25,57	26,78	20,85	24,40	7,13
НСР ₀₅	0,62	5,6	2,21	3,10	1,35	2,22	

* среднее за 2020–2022 гг.

В нашем опыте использование минеральных удобрений сопровождалось как увеличением количества клубней в гнезде (на 16–22 %), так и повышением средней массы клубня (на 12–17 %). Наиболее сильная корреляция между величиной урожая картофеля и числом клубней в кусте отмечалась в условиях 2020 г. ($r = 0,911$), связь с массой клубней при этом была слабой ($r = 0,136$). В острозасушливом 2021 г. урожайность картофеля в значительной мере зависела как от количества ($r = 0,857$), так и от средней массы клубней ($r = 0,859$), тогда как в засушливых условиях 2022 г. корреляционная зависимость заметно ослабевала ($r = 0,671$ и $0,413$ соответственно).

Применение минеральных удобрений существенно влияло на биохимический состав клубней. Использование кальциевой селитры ($N_{130}Ca_{158}$) увеличивало содержание в клубнях сухого вещества (на 1,5 %) и крахмала (на 1,46 %) по сравнению с вариантом применения удобрений без кальция ($N_{130}P_{150}K_{130}$). Добавление кальция в состав сбалансированного удобрения под планируемый урожай 40 т/га ($N_{130}P_{150}K_{130}Ca_{158}$) обеспечило наибольшую товарность урожая и высокое качество продукции, тогда как внесение минеральных удобрений без кальция снижало содержание в клубнях сухого вещества (на 1,7 %) и крахмала (на 0,99 %) по сравнению с контрольным вариантом (табл. 2).

Таблица 2

**Влияние минеральных удобрений на качество клубней картофеля сорта Захар
в условиях лесостепной зоны Челябинской области (в среднем за 2020–2022 гг.)**

Вариант опыта	Товарность урожая, %	Сухое вещество, %	Крахмал		Нитраты, мг/кг
			%	т/га	
Без удобрений (к)	82,7	23,8	16,10	2,74	67,1
$N_{130}Ca_{158}$	84,0	23,6	16,67	3,70	136,0
$N_{130}P_{150}K_{130}$	83,6	22,1	15,11	3,35	85,7
$N_{130}P_{150}K_{130}Ca_{158}$	87,8	23,4	16,07	3,88	107,6
НСР ₀₅	2,4	1,3	0,94	0,51	44,3

Положительное влияние кальциевой селитры на величину и качество урожая картофеля, возможно, связано с адаптогенными свойствами кальция, повышающего сопротивляемость растений к негативному влиянию стрессов, стимулирующего формирование корневой системы и, как следствие, способствующего усвоению из почвы азота и других элементов питания [3]. Косвенно об этом свидетельствует двукратное увеличение по сравнению с контролем содержания нитратного азота в клубнях (до 136 мг/кг) в варианте внесения кальциевой селитры (что в 1,58 раза больше, чем в варианте $N_{130}P_{150}K_{130}$).

В условиях 2022 года проследили изменение содержания питательных элементов в пахотном слое почвы по сравнению с их содержанием перед закладкой опыта (фон), при этом в схему опыта был добавлен вариант внесения минеральных удобрений в расчете на планируемый урожай клубней 60 т/га ($N_{250}P_{260}K_{260}$), табл. 3.



Химический состав почвы под растениями в ходе эксперимента с внесением удобрений (2022 г.)

Показатель	Исходный 05.05.2022	Временная точка 1 26.05.2022					Временная точка 2 28.06.2022					Временная точка 3 28.07.2022					Временная точка 4 30.08.2022				
Вариант (временная точка)	1(1)	2(1)	3(1)	4(1)	5(1)	1(2)	2(2)	3(2)	4(2)	5(2)	1(3)	2(3)	3(3)	4(3)	5(3)	1(4)	2(4)	3(4)	4(4)	5(4)	
Общие																					
рН водная	5,29	5,40	5,16	5,00	4,97	5,18	5,44	5,35	5,21	5,36	5,34	5,82	5,43	5,27	5,43	5,54	5,66	5,43	5,34	5,45	5,50
рН солевая	4,28	4,32	4,38	4,31	4,26	4,40	4,71	4,71	4,57	4,67	4,63	4,73	4,75	4,64	4,68	4,62	4,70	4,70	4,67	4,62	4,65
ЕС, мкСм/см	74,4	27,7	73,0	94,0	184,0	88,0	40,0	98,7	109,6	116,5	103,3	20,1	70,9	119,3	57,3	45,9	31,7	70,5	89,5	60,1	37,3
Подвижные (обменные) формы																					
N-NH ⁺ ₄ , мг/кг	3,4	4,7	4,0	9,5	3,3	15,7	2,6	3,4	0,0	4,0	9,4	9,0	6,1	11,0	13,5	30,5	2,4	5,3	16,7	2,9	3,9
N-NO ⁻ ₃ , мг/кг	11,8	10,2	45,7	50,1	75,9	55,0	11,0	44,7	44,7	75,9	49,0	1,4	39,8	87,1	19,1	24,6	5,6	38,0	36,3	18,6	8,3
K ₂ O, мг/кг	142,9	179,5	139,3	165,0	173,8	184,3	147,5	146,4	145,7	145,9	188,3	145,2	125,4	144,8	180,9	300,8	138,3	125,6	142,4	144,1	123,1
Mg, моль/100 г	5,44	6,41	5,25	5,23	6,32	6,31	5,39	5,46	5,51	5,77	5,49	5,00	5,44	5,39	5,36	5,51	5,95	6,30	5,55	6,44	6,15
P ₂ O ₅ , мг/кг	32,9	26,2	23,9	40,6	48,4	48,4	19,0	22,8	48,5	29,4	59,0	19,5	22,2	26,9	47,2	126,9	25,0	27,7	50,5	39,5	36,5
Водорастворимые формы																					
NH ⁺ ₄ , мг/кг	2,95	5,37	17,55	7,04	3,49	16,07	1,73	0,56	1,16	0,41	1,18	1,53	0,95	0,89	3,10	2,15	21,18	15,58	20,54	3,82	15,23
K ⁺ , мг/кг	6,84	11,64	14,44	15,81	17,49	17,49	5,86	9,78	23,50	129,8	13,19	3,22	4,20	11,22	5,82	13,98	8,15	7,23	9,12	8,03	7,12
Na ⁺ , мг/кг	12,96	11,36	13,90	17,97	21,90	19,72	9,19	12,10	14,05	14,44	15,96	10,70	10,31	10,70	13,28	13,05	14,54	11,56	15,14	13,08	14,37
Mg ²⁺ , мг/кг	10,10	9,40	12,20	31,72	34,11	23,80	12,64	13,52	14,47	23,37	19,67	7,62	18,19	29,88	15,91	15,78	11,35	17,23	17,14	18,92	9,62
Ca ²⁺ , мг/кг	38,63	32,04	44,37	100,5	115,0	84,27	54,22	61,20	81,59	94,05	89,67	33,29	71,57	117,5	83,33	64,39	21,92	48,08	45,08	53,02	18,61
Sr ²⁺ , мг/кг	1,57	0,68	1,50	0,84	0,88	0,78	6,73	0,44	0,53	4,64	1,18	1,55	1,70	1,03	1,09	2,15	1,26	2,11	1,23	1,29	0,92
Ba ²⁺ , мг/кг	0,62	0,82	0,50	1,52	0,59	1,69	0,47	0,44	0,49	1,00	1,28	1,86	0,77	0,48	1,09	1,06	0,60	1,32	0,28	0,60	2,02

Вариант опыта: 1 – контроль (без удобрений), 2 – кальций (N₁₂₀Ca₄₆), 3 – NPK40 (N₁₂₀P₁₄₄K₁₂₀), 4 – NPK40 + кальций (N₁₂₀P₁₄₄K₁₂₀Ca₄₆), 5 – NPK60 (N₂₅₀P₂₆₀K₂₆₀).





Из табл. 3 виден нелинейный характер изменения показателей во времени, а также отсутствие связи между концентрациями подвижных (обменных) и водорастворимых форм элементов, тенденция к связи была отмечена только для калия. Последнее было подтверждено в ходе корреляционного анализа: для Mg коэффициент корреляции Спирмена составил $r_s = 0,14$; $p = 0,550$, для аммония – $r_s = 0,07$; $p = 0,754$, для калия – $r_s = 0,43$; $p = 0,052$. Поэтому для поиска наиболее общих закономерностей изменения химического состава почвы в ходе эксперимента нами был использован многомерный анализ.

В ходе анализа главных компонент (Principal component analysis, PCA) с использованием критериев Кэттелла и «сломанной трости» было установлено, что нетривиальную долю изменчивости объясняют первые 3 главные компоненты (ГК), на которые приходилось 63,1 % общей дисперсии. Первые две ГК представлены на рис. 1.

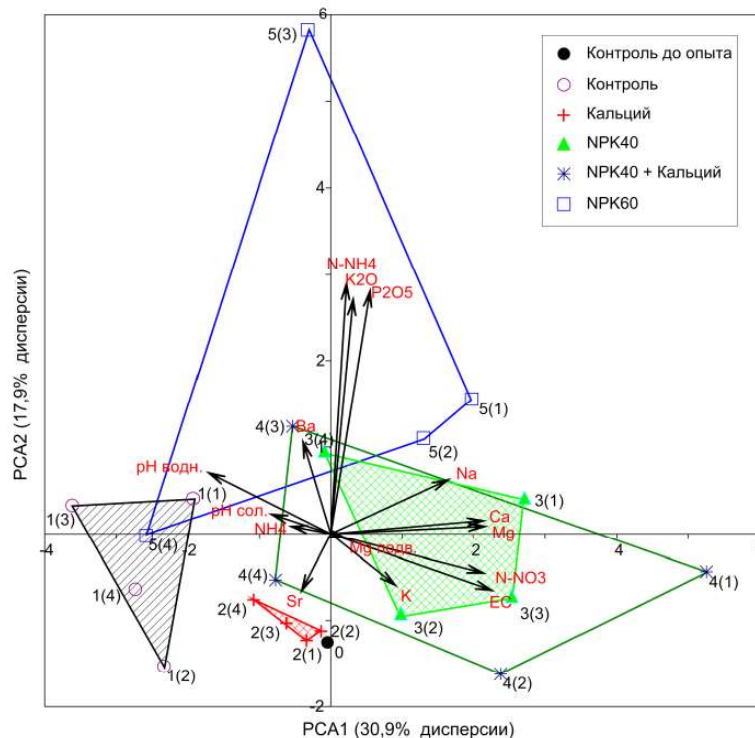


Рис. 1. Химические показатели (векторы) и образцы почвы (значки) в пространстве первых двух главных компонент

ГК 1 объясняла 30,9 % общей изменчивости (дисперсии) изученных химических показателей. Как видно из ординационной диаграммы на рис. 1, она была отчётливо биполярной: в левой части находился водородный показатель pH солевой и особенно водной вытяжек из почвы, в правой – катионы металлов водной вытяжки проб, нитратный азот и электропроводность ЕС. Таким образом, ГК 1 демонстрирует обратную связь между pH и солесодержанием почвы. Видно, что более высокими значениями pH характеризовались почвы контрольного участка; они же имели меньшее содержание солей (ЕС и катионы). Обратная ситуация наблюдалась на участке с внесением NPK40 и NPK40 с кальцием, особенно в мае и июне: точки 4(1) и 4(2).

ГК 2 объясняла 17,9 % общей дисперсии показателей и характеризовала концентрацию в почве аммонийного азота, обменных форм фосфора и калия. Видно, что максимальные концентрации этой группы соединений регистрировались в вариантах внесения NPK60 (на всех сроках кроме последнего 5(4)), а также в отдельные периоды на участках с внесением NPK40 и NPK40 с кальцием. Минимальное содержание в почве рассматриваемых элементов наблюдалось на фоне (до опыта), в разных опытных группах во второй временной точке и в почвах с внесённым кальцием.

Анализ диаграммы позволяет обнаружить временные тренды изменения химического состава почвы. Так, видно, что независимо от варианта опыта метки первой временной точки № 1 расположены правее, а метки третьей и четвёртой точек № 3 и № 4 – левее. Это указывает на снижение в почве содержания солей за период исследования и на её слабое защелачивание, как правило, не приводящее к смене классификации по величине pH.

Более сильные различия между вариантами опыта обнаруживаются по размаху изменчивости химических показателей, которую на рис. 1 демонстрируют площади полигонов, очерченных по край-

ним точкам каждого варианта. Видно, что минимальная изменчивость отмечалась в варианте с внесением кальция: все метки этого варианта были сгруппированы на небольшой площади в нижней части диаграммы, несколько левее точки исходного состава почвы. На втором месте находились почвы контрольного участка (треугольник в левой части рисунка), на третьем – вариант с внесением NPK40. Максимальная изменчивость была отмечена в вариантах NPK40 + кальций и, особенно, NPK60. Следует отметить, что изменчивость в этих группах была велика как по ГК 1, так и по ГК 2, что означает сильные различия образцов как по минерализации и pH, так и по содержанию подвижных форм калия, фосфора и аммонийного азота. Судя по расположению меток 3 и 4 временных точек, можно заключить, что максимальная концентрация этих элементов наблюдалась в почве в конце июля (точки 4(3) и 5(3)), а к концу августа существенно снижалась (точки 4(4) и 5(4)). Это можно интерпретировать как активное поглощение элементов данного паттерна из почвы растениями в течение августа.

Таким образом, анализ главных компонент позволил выявить наиболее общие закономерности изменения химического состава почвы, которые оказались связанными как со сроками наблюдения, так и определялись вариантами опыта. Поэтому для более точного разложения изменчивости по этим двум факторам далее был проведён анализ избыточности (Redundancy analysis, RDA). Данная ординационная техника объединяет в себе возможности PCA и множественной регрессии, позволяя анализировать не всю присущую набору данных изменчивость, а вычленять те её части, которые задаются регрессорами. В нашем случае такими регрессорами были факторы «Время» и «Удобрения».

Фактор «Время» на 34,2 % объяснял изменения химического состава почвы и был высоко статистически значим: в рандомизационном варианте дисперсионного анализа (число перестановок $n = 9999$) $F_{(4/16)} = 2,08$; $p = 0,004$. Как видно из рис. 2, первая ось RDA характеризовала изменения от исходного состава почвы и временной точки 1 до временной точки 2. Эти изменения проявлялись главным образом в увеличении pH почвы, то есть в её защелачивании. Вдоль второй оси RDA проявились различия между временными точками 2 и 4. Для почв временной точки 2 были характерны несколько более высокие значения электропроводности, калия (и обменного, и водорастворимого), водорастворимого кальция и азота нитратов. Соответственно, на последнем сроке опыта данные показатели уменьшались, а несколько возрастала концентрация подвижного магния и водорастворимого аммония, а также pH почвы.

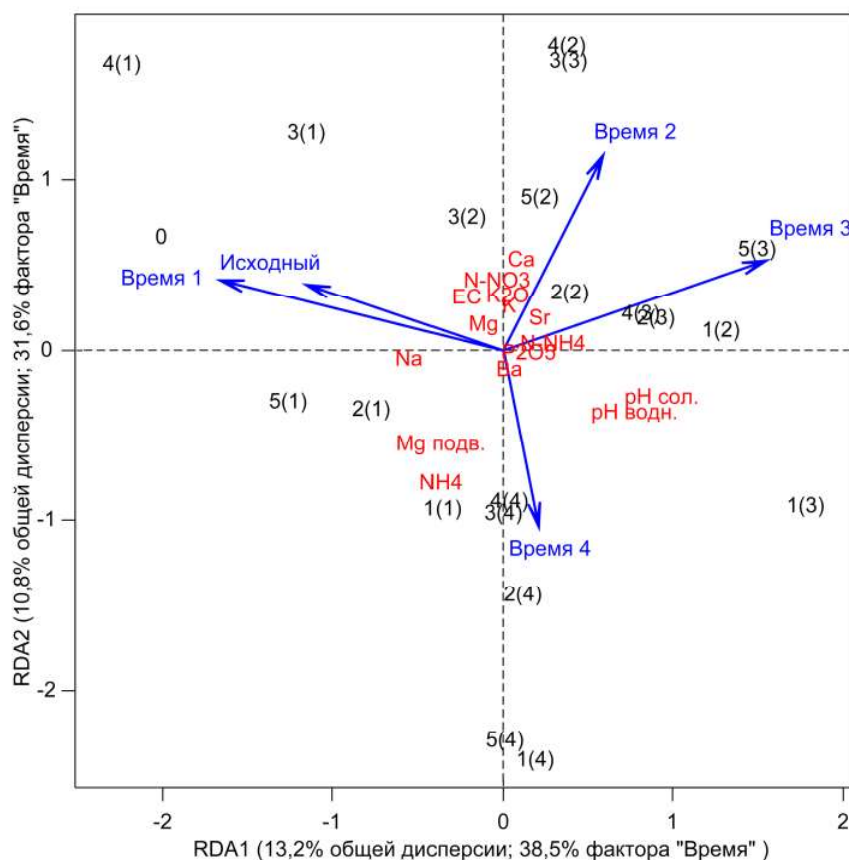


Рис. 2. Временные точки (векторы), химические показатели и образцы почвы в пространстве двух первых осей анализа избыточности





Аналогичный анализ был проведен для фактора «Удобрения». Было установлено, что он на 25,4 % объяснял изменения химического состава почвы и был высоко статистически значим: $F(3/17) = 1,93$; $p = 0,009$. Совмещенный тройной график (триплот) для обработок представлен на рис. 3 и демонстрирует закономерности близкие к отмеченным ранее для PCA. Основными из них являются следующие: 1) варианты с внесением NPK40 и NPK40 с кальцием характеризуются близким химическим составом (существенное наложение полигонов) с более высоким содержанием солей (ЕС), водорастворимых К, Mg, Ca и обменного азота нитратов; 2) вариант опыта с внесением NPK60 характеризуется максимальным содержанием в почве обменных калия, фосфора и аммонийного азота, а также максимальной изменчивостью во времени; 3) вариант опыта с внесением кальция и контрольный вариант характеризовались низким содержанием солей, несколько более высокими значениями pH и малой изменчивостью химии почв во времени.

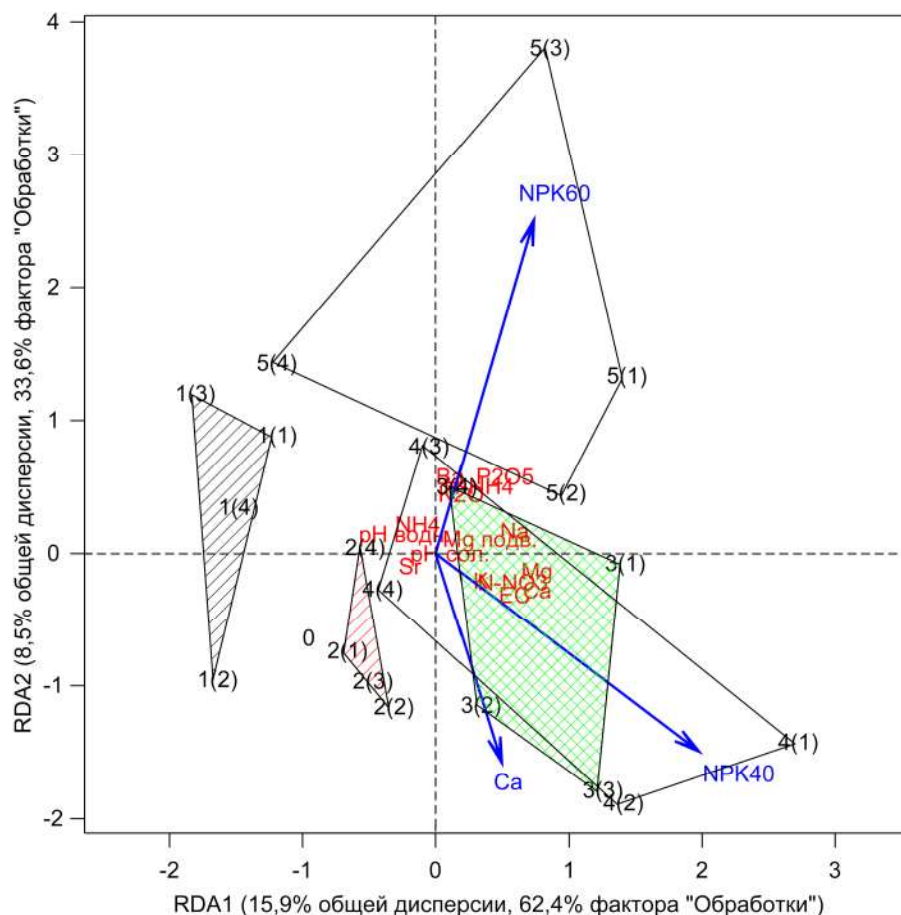


Рис. 3. Варианты обработок (векторы), химические показатели и образцы почвы в пространстве двух первых осей анализа избыточности

Заключение. Проведенные исследования показали, что сроки отбора почвенных проб и минеральные удобрения определяли химический состав почвы на 60 % (63,1 % согласно PCA, 59,6 % согласно RDA). Фактор «Время» на 34,2 % объяснял изменения химического состава почвы и был высоко статистически значим ($F_{(4/16)} = 2,08$; $p = 0,004$). В течение вегетации в почвах наблюдалось небольшое уменьшение общего содержания солей и рост величины pH. Наиболее активное поглощение подвижных форм калия, фосфора и аммонийного азота растениями происходило в августе. Фактор «Удобрения» на 25,4 % объяснял изменения химического состава почвы и был высоко статистически значим ($F_{(3/17)} = 1,93$; $p = 0,009$). Изменения химического состава почвы под растениями разных вариантов опыта отличались спецификой, в том числе: а) более высоким содержанием солей, водорастворимых К, Mg, Ca и нитратного азота в вариантах с внесением NPK40 и NPK40 с кальцием, б) максимальным содержанием обменных калия, фосфора и аммонийного азота в варианте с внесением NPK60, в) низким содержанием солей, несколько более высокими значениями pH и малой изменчивостью химии почв во времени в вариантах опыта с внесением кальция и в контрольном варианте.

Внесение сбалансированных норм минеральных удобрений под урожай клубней 40 т/га как с кальцием, так и без него оказывает существенное влияние на режим минерального питания растений. Дополнительное внесение кальция повышает адаптивную способность растений к условиям засухи, при этом усиление азотного питания картофеля наблюдается в первой половине вегетации, а фосфорного и калийного питания в течение всей вегетации. Вследствие этого в варианте с внесением кальция ($N_{130}P_{150}K_{130}Ca_{158}$) отмечаются наибольшая урожайность (на 41,3 % больше, чем на контроле), товарность урожая (+5,1 %), высокое качество продукции, тогда как в варианте без кальция ($N_{130}P_{150}K_{130}$) содержание в клубнях сухого вещества снижается на 1,7 %, а крахмала – на 0,99 % по сравнению с контрольным вариантом (без удобрений).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федотова Л. С. Условия минерального питания, продуктивность и качество картофеля // *Агрохимия*. 2003. № 2. С. 31–36.
2. Васильев А. А. Картофель / под ред. Н.В. Глаз. Челябинск, 2021. 219 с.
3. Ягодин Б. А., Жуков Ю. П., Кобзаренко В. И. *Агрохимия*. М.: Колос, 2020. 584 с.
4. Loginov Y. P., Kazak A. A., Yakubysheva L. I., Falaleeva T. N., Yashchenko S. N., Yarova E. T. Breeding value of collection varieties of potato in the forest-steppe zone of the Tyumen region // *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*. 2018. Vol. 10. No. 2. P. 377–380.
5. Глаз Н. В., Васильев А. А. Формирование планируемых урожаев картофеля в зависимости от протравливания семенного материала и сроков посадки // *Агрохимический вестник*. 2021. № 4. С. 35–40. DOI: 10.24412/1029-2551-2021-4-007.
6. Чехалкова Л. К., Конова А. М., Гаврилова А. Ю. Влияние агротехнических приемов на семенную продуктивность ранних сортов картофеля в конкретных почвенно-климатических условиях Смоленской области // *Аграрный научный журнал*. 2022. № 3. С. 46–50. DOI: 10.28983/asj.y2022i3pp46-50.
7. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
8. Makarov M. I. The role of mycorrhiza in transformation of nitrogen compounds in soil and nitrogen nutrition of plants: a review // *Eurasian Soil Science*. 2019. Vol. 52. No. 2. P. 193–205. DOI: 10.1134/S1064229319020108.
9. Завалин А. А., Соколов О. А., Шмырева Н. Я. Развитие агрохимических исследований с изотопом ^{15}N в России // *Плодородие*. 2021. № 3 (120). С. 56–62. DOI: 10.25680/S19948603.2021.120.10.
10. Лебедева Т. Н., Никитиш В. И. Минеральное питание и удобрение картофеля на серой лесной почве // *Агрохимия*. 2014. № 8. С. 26–39.

REFERENCES

1. Fedotova L. S. Conditions of mineral nutrition, productivity and quality of potatoes. *Agrochemistry*. 2003; 2: 31–36.
2. Vasiliev A. A. Potato / ed. N.V. Glaz. Chelyabinsk; 2021. 219 p. (In Russ.).
3. Yagodin B. A., Zhukov Yu. P., Kobzareno V. I. *Agrochemistry*. Moscow; 2020. 584 p. (In Russ.).
4. Loginov Y. P., Kazak A. A., Yakubysheva L. I., Falaleeva T. N., Yashchenko S. N., Ya-rova E. T. Breeding value of collection varieties of potato in the forest-steppe of the Tyumen zone region. *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*. 2018; 10; 2: 377–380. (In Russ.).
5. Glaz N. V., Vasiliev A. A. Formation of planned potato crops depending on seed dressing and planting dates. *Agrochemical Bulletin*. 2021; 4: 35–40. DOI: 10.24412/1029-2551-2021-4-007. (In Russ.).
6. Chekhalkova L. K., Konova A. M., Gavrilova A. Yu. Influence of agricultural practices on seed productivity of early potato varieties in specific soil and climatic conditions of the Smolensk region. *The agrarian scientific journal*. 2022; (3): 46–50. DOI: 10.28983/asj.y2022i3pp46-50. (In Russ.).
7. Dospechov B. A. Methods of field experience. Moscow; 1985. 351 p. (In Russ.).
8. Makarov M. I. The role of mycorrhiza in transformation of nitrogen compounds in soil and nitrogen nutrition of plants: a review. *Eurasian Soil Science*. 2019; 52; (2): 193–205. DOI: 10.1134/S1064229319020108.
9. Zavalin A. A., Sokolov O. A., Shmyreva N. Ya. Development of agrochemical research with the ^{15}N isotope in Russia. *Soil Fertility*. 2021; 3 (120): 56–62. DOI: 10.25680/S19948603.2021.120.10. (In Russ.).
10. Lebedeva T. N., Nikitishen V. I. Mineral nutrition and fertilizer of potatoes on gray forest soil. *Agrochemistry*. 2014; (8): 26–39. (In Russ.).

Статья поступила в редакцию 2.12.2022; одобрена после рецензирования 21.01.2023; принята к публикации 1.02.2023.
The article was submitted 2.12.2022; approved after reviewing 21.01.2023; accepted for publication 1.02.2023.

