



Научная статья

УДК 631.82:631.821.1

doi: 10.55186/25876740\_2024\_67\_3\_282

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВОЗДЕЙСТВИЯ НЕТРАДИЦИОННЫХ ИЗВЕСТКОВЫХ МЕЛИОРАНТОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ ПРОДУКТИВНОСТИ И КАЧЕСТВА КАРТОФЕЛЯ, ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ И ЭКОЛОГИЧЕСКУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Л.С. Федотова<sup>1</sup>, Н.И. Аканова<sup>2</sup>, Н.А. Тимошина<sup>1</sup>,  
Е.В. Князева<sup>1</sup>, И.А. Арсентьев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха,  
Московская область, Россия

<sup>2</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии  
имени Д.Н. Прянишникова, Москва, Россия

**Аннотация.** Применение конверсионного карбоната кальция (ККК), образующегося при производстве азофоски, при равном эффекте с известняковой мукой по ГОСТу Р 50261-92 позволяет сократить затраты на известкование в среднем на 40%. ККК характеризуется высокой нейтрализующей способностью (90-95% в пересчете на CaCO<sub>3</sub>), содержит азот (0,3-0,5%) и фосфор (0,5-0,6%). К нежелательным примесям в составе ККК относятся стабильный, нерадиоактивный стронций (до 1,7%) и фтор (0,3%). Представлены результаты влияния конверсионного карбоната кальция при интенсивном использовании пашни в картофельном севообороте. Выявлено воздействие нетрадиционного мелиоранта на изменение плодородия кислой дерново-подзолистой супесчаной почвы. Результаты исследований в полевом опыте с двумя сортами картофеля: Белоснежка и Ред Скарлетт в условиях Московской области показали, что ККК — высокоэффективное быстродействующее известковое удобрение, по своему действию на агрохимические показатели почв является одной из лучших форм химического мелиоранта. Продукция, выращенная на двух разностях дерново-подзолистой почвы (супесчаная/среднесуглинистая) с использованием средней дозы минеральных удобрений (N<sub>90</sub>P<sub>90</sub>K<sub>90</sub>) на кислой почве и произвесткованной карбонатом кальция конверсионным в возрастающих дозах: 3-6 и 4-9 т/га, по соотношению Ca/Sr (184-453 и 170-369), как индикатора качества, находилась выше пороговой величины (140). Данные динамики кислотно-основных свойств почв показали, что потери обменных оснований в пахотном слое за период 2019-2023 гг. составили: CaO — 1,7-4,9 мг/100 г и MgO — 0,9-1,8 мг/100 г почвы или в пересчете на 1 га: CaO — 51-147 кг и MgO — 27-54 кг. ККК не содержит магния, что следует учитывать при его применении. В связи с этим проведение прикорневых подкормок магниесодержащим удобрением (АгроМаг, 60% MgO) в дозах Mg<sub>100-200</sub> обеспечило прибавки урожайности раннего сорта картофеля 2,6-4,5 т/га или 13,6-23,6% к минеральному фону, а содержание обменного магния в пахотном слое почвы повысилось на 2,8-3,4 мг/100 г почвы.

**Ключевые слова:** плодородие, почва, кислотность, известкование, картофель, урожайность, карбонат кальция конверсионный, кальцийсодержащий отход

Original article

## EFFECTIVENESS OF NON-TRADITIONAL LIME AMELIORANTS ON THE FORMATION OF PRODUCTIVITY AND QUALITY OF POTATOES, SOIL FERTILITY AND ENVIRONMENTAL SAFETY

L.S. Fedotova<sup>1</sup>, N.I. Akanova<sup>2</sup>, N.A. Timoshina<sup>1</sup>,  
E.V. Knyazeva<sup>1</sup>, I.A. Arsenyev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Federal Potato Research Center named after A.G. Lorch, Moscow region, Russia

<sup>2</sup>All-Russian Research Institute of Agrochemistry named after D.N. Pryanishnikov,  
Moscow, Russia

**Abstract.** The use of conversion calcium carbonate (CCC) with the same effect as limestone flour according to GOST R 50261-92 can reduce the cost of liming by an average of 40%. CCC is characterized by high neutralizing capacity (90-95% in terms of CaCO<sub>3</sub>), contains nitrogen (0.3-0.5%) and phosphorus (0.5-0.6%). Undesirable impurities in SSC include stable, non-radioactive strontium (up to 1.7%) and fluorine (0.3%). The results of the effect of conversion calcium carbonate under the intensive use of arable land in potato crop rotation are presented. The effect of non-traditional ameliorant on changes in the fertility of acidic sod-podzolic sandy loam soil has been revealed. The results of research in a field experiment with two varieties of potatoes: Snow White and Red Scarlett, in the conditions of the Moscow region showed that CCC is a highly effective fast-acting lime fertilizer, in terms of its effect on agrochemical indicators of soils, it is one of the best forms of chemical ameliorant. Products grown on two varieties of sod-podzolic soil (sandy loam/medium loamy) using an average dose of mineral fertilizers (N<sub>90</sub>P<sub>90</sub>K<sub>90</sub>) on acidic soil and produced by calcium carbonate conversion in increasing doses: 3-6 and 4-9 t/ha, according to the Ca/Sr ratio (184-453 and 170-369), as an indicator of quality, were above the threshold value (140). The dynamics of acid-base properties of soils showed that the losses of exchangeable bases in the arable layer for the period 2019-2023 amounted to: CaO — 1.7-4.9 mg/100 g and MgO — 0.9-1.8 mg/100 g of soil, or in terms of per hectare: CaO — 51-147 kg and MgO — 27-54 kg. In connection with this, root feeding with magnesium-containing fertilizer (АгроМаг, 60% MgO) in doses of Mg<sub>100-200</sub> provided an increase in the yield of the early potato variety of 2.6-4.5 t/ha or 13.6-23.6% to the mineral background, and the content of exchangeable magnesium in the arable soil layer increased by 2.8-3.4 mg/100 g of soil.

**Keywords:** fertility, soil, acidity, liming, potatoes, yield, calcium carbonate conversion, calcium-containing waste

**Введение.** Интенсивная хозяйственная деятельность человека приводит к кардинальным изменениям состояния пахотных почв, а без проведения фундаментальных агрохимических мероприятий часто к деградации. Об этом свидетельствуют экспериментальные

данные длительного стационарного опыта ВНИИКХ (1977-2003 гг.) по влиянию известкования и минеральных удобрений в высоконасыщенном картофелем севообороте (Федотова, 2003). В 2000 г. в этом опыте изучали последствие применения известкования (через 23 года)

и удобрений (через 16 лет), для чего было выполнено два почвенных разреза — на абсолютном контроле (без удобрений и известкования) и варианте сочетания факторов в максимальных грациях (доломитовая мука 2,0 по г.к. (или 12,8 т/га) + N<sub>150</sub>P<sub>150</sub>K<sub>180</sub>) (табл. 1).



Таблица 1. Характеристика горизонтов профиля дерново-подзолистой супесчаной почвы (2000 г.) на абсолютном контроле и варианте с сочетанием известкования 2,0 по г.к. и  $N_{150}P_{150}K_{180}$

Table 1. Characteristics of the horizons of the profile of sod-podzolic sandy loam soil (2000) under absolute control and the variant with a combination of liming 2.0 by g.c. and  $N_{150}P_{150}K_{180}$

Вариант	Горизонт, мощность, см	pH <sub>KCl</sub>	Hг	S	Нобм	Al	V, %	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O
								мг-экв/100 г почвы		
Без известкования и удобрений	A <sub>тпак</sub> 0-37	4,7	3,3	2,0	0,69	0,1	38	320	130	30
	B <sub>1</sub> 50-125	3,7	4,6	2,7	4,10	1,2	37	240	90	57
	B <sub>2</sub> 125-180	4,1	1,8	2,8	0,79	0,7	61	210	120	35
	C>190	4,5	0,4	2,5	0,20	0,2	86	60	80	20
Доломитовая мука 2,0 г.к. + $N_{150}P_{150}K_{180}$	A <sub>тпак</sub> 0-40	4,9	2,7	2,4	0,30	0,03	47	450	170	40
	B <sub>1</sub> 50-125	4,3	1,2	2,2	0,40	0,06	65	250	100	50
	B <sub>2</sub> 125-180	4,5	0,9	2,7	0,30	0,21	75	300	150	35
	C>190	4,5	0,4	2,5	0,20	0,12	86	90	50	30
НСР <sub>05</sub>		0,2	0,3	0,2	0,23	0,05	5	12	9	7

За период с 1984 по 2000 гг. на абсолютном контроле процессы интенсивного подкисления почвенной среды развивались в подпахотном горизонте (B<sub>1</sub>), в результате чего существенно повысились все виды почвенной кислотности (актуальная, гидролитическая и обменная), а также содержание подвижного алюминия; содержание обменных оснований снизилось по всему почвенному профилю абсолютного контроля: CaO — в 1,9-3,7 раза, MgO — в 1,7-2,5 раза. Среднегодовые потери за период 1984-2000 гг. составили: в пахотном горизонте CaO — 1,75 мг и MgO — 0,56 мг (53 и 17 кг/га), в подпахотном — 2,2 и 0,56 мг, в иллювиальном — 4,75 и 1,06 мг/100 г почвы соответственно. В то же время влияние последействия двойной дозы доломитовой муки ощутимо проявлялось во всех горизонтах профиля почвы: A<sub>тпак</sub>, B<sub>2</sub> и даже C (иллювиальный).

В последнее время затраты на удобрения, ГСМ и пестициды значительно увеличивают себестоимость производимой продукции, ставя под сомнение целесообразность само выращивания, что является основанием поиска путей повышения эффективности удобрений, в первую очередь, путем известкования пашни, в том числе отходами промышленности, некоторые из которых можно использовать в качестве мелиорантов.

Принято считать, что выращивание картофеля не требует проведения известкования, однако, на кислых почвах снижается рентабельность сельскохозяйственного производства в целом и эффективность минеральных удобрений. Аграрии США придерживаются следующего принципа: «Первый доллар из затраченных на улучшение почвенного плодородия должен быть вложен в известкование» [1]. Применение отходов промышленности позволяет решать важные актуальные задачи: обеспечение сельскохозяйственных предприятий дешевыми известковыми материалами, территориально расположенными вблизи от потребителя, и снизить затраты при равном или более высоком эффекте по сравнению с известняковой мукой в среднем на 30-40%; реутилизацию и вторичное использование отходов, что также сократит площади земель, используемых для их складирования [2].

Конверсионный карбонат кальция (ККК) по влиянию на урожай и качество сельскохозяйственных культур не отличается от стандартной, пылевидной известняковой муки (по ГОСТу Р

50261-92). В связи с наличием в ККК азота и фосфора в первый год после его внесения азотные и фосфорные удобрения не применяют. Однако наличие токсичных примесей (стронций, фтор) сдерживает широкое применение ККК. Известно, что стронций в организме животных и человека вместе с кальцием, фосфором и другими элементами может оказывать существенное влияние на обмен веществ костной ткани. Выявлены биогеохимические провинции, где почвы обогащены Sr при недостатке кальция. В этих провинциях обнаружено эндемическое заболевание, так называемая уровская болезнь (или стронциевый рахит), которая возникает вследствие нарушения минерального обмена и изменения соотношения Ca:Sr в организме и окружающей среде [5, 6]. Будучи токсичным сам по себе Sr обладает способностью косвенно вызывать отрицательный эффект: йод в присутствии стронция становится малодоступным для организма, вследствие чего наступает йодная недостаточность со всеми характерными для нее последствиями [5-7].

Предельная допустимая концентрация (ПДК) стронция в почве колеблется в широких пределах 600-1000 мг/кг [8]. Стронций, как и кальций, легко переходит в почвенный раствор и сорбируется почвенным поглощающим комплексом, откуда поступает в корни растений. Растения содержат от 0,0001 до 0,017% стабильного стронция [8-10]. Больше всего Sr в листьях и стеблях к концу вегетации, меньше всего — в репродуктивных органах.

На легких кислых почвах, содержащих небольшое количество обменного кальция, происходит относительно более высокое накопление стронция, чем на тяжелой суглинистой почве [10]. Результаты опытов показали, что зерновые культуры без особого вреда могут выносить замену стронцием значительной части обменного кальция в почвенном поглощающем комплексе, полная замена кальция приводит растения к гибели вследствие кальциевого истощения и токсичности стронциевых солей [11].

На поглощении стронция растениями большое влияние оказывает не только его содержание в почве, но и условия минерального питания [12]. Азотные удобрения усиливают поступление Sr в вегетативные части. Фосфорные удобрения способствуют небольшому увеличению содержания стронция в соломе и снижению его концентрации в зерне. Калийные удобрения, в частности K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, уменьшают поступление Sr в растения,

особенно на дерново-подзолистых супесчаных почвах, аналогичный эффект наблюдается при известковании и внесении органических удобрений [11, 13].

**Цель исследований** — обосновать возможности экологически безопасного использования в сельскохозяйственном производстве карбоната кальция конверсионного, выявить его влияние в возрастающих дозах на плодородие почвы, продуктивность и качество картофеля, а также экологическую безопасность окружающей среды, в том числе на содержание кальция и стронция в выращенной продукции.

**Условия и методы исследований.** В 2021 г. был проведен опыт по использованию в качестве мелиоранта карбоната кальция конверсионного (ККК), который является побочным продуктом производства минерального удобрения нитроаммофоски (азофоски). Исследования проводились в двух полевых опытах на двух почвенных зонах: (ЭБ «Коренево») на дерново-подзолистой супесчаной почве (пос. Коренево, Московская область) на среднераннем сорте картофеля Белоснежка (I репродукция) и (СПК «Агрофирма «Элитный картофель») на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве (с. Заворово, Московская область) на раннеспелом сорте картофеля Ред Скарлетт (I репродукция).

Уход за посадками картофеля общепринятый для зоны возделывания [3, 4]. Площадь делянок — 60 м<sup>2</sup>, расположение рендомизированное, повторность 3-кратная. Сроки посадки картофеля — первая декада мая; сроки уборки — конец августа.

**Формы удобрений:** нитроаммофоска (N<sub>16</sub>P<sub>16</sub>K<sub>16</sub>); ККК — марка А, сорт 1 — массовая доля суммы карбонатов кальция и магния (в пересчете на карбонат кальция) не менее 90%. ККК, кроме кальция содержит в своем составе также до 1,7% стронция.

**Метеоусловия:** засуха началась уже в мае 2021 г. (ГТК<sub>май</sub>=0,38) и на протяжении последующих двух месяцев усугублялась (ГТК<sub>июнь</sub>=0,61, ГТК<sub>июль</sub>=0,50), нормальные условия увлажнения в августе не оказали существенного влияния на урожайность ранних сортов картофеля. В целом ГТК<sub>2011</sub> составил 0,67, что является показателем средней засухи. Растения картофеля развивались следующим образом: фазы развития были не характерными, не было дружного цветения, наблюдалось раннее отмирание ботвы, что и определило общую картину накопления относительно низкой урожайности.



**Методы исследований:** закладка опыта, фенологические наблюдения, учеты роста и развития растений, урожая и его структуры были проведены согласно «Методике проведения агротехнических опытов, учетов, наблюдений и анализов на картофеле» [12]; агрохимические показатели почвы определялись по общепринятым ГОСТам. Достоверность различий между средними величинами вычисляли методом однофакторного дисперсионного анализа на 5% уровне значимости [14].

**Результаты и обсуждение.** Опыты с известкованием проводились во ВНИИКС вплоть до 2014 г. [15, 16], но на основной площади пашни экспериментальной базы «Коренево» (Московская область) ~ 30 га известкования не проводилось. При этом ежегодно в среднем на 1 га пашни картофельного севооборота экспериментальной базы «Коренево» вносится около 600-700 кг NPK-удобрений в физической массе. В пахотном слое пашни за последние 5 лет интенсивного ее использования наблюдается отчетливый тренд подкисления почвенной среды: увеличение актуальной и гидролитической кислотности ( $H_r$ ), уменьшение степени насыщенности ( $V$ ) и суммы обменных оснований ( $S$ ), содержания обменных кальция и магния (табл. 2).

Потери обменных оснований в пахотном слое за период 2019-2023 гг. составили: CaO — 1,7-4,9 мг/100 г и MgO — 0,9-1,8 мг/100 г почвы или в пересчете на 1 га: CaO — 51-147 кг и MgO — 27-54 кг.

Большие потери питательных веществ в зоне дерново-подзолистых почв являются естественным природным явлением, которое усугубляется при распахке и интенсификации обработок, а также внесении минеральных удобрений [1]. Почва картофельного севооборота за время ее интенсивного использования (с 20-х годов 20 века) к периоду 2019-2023 гг. обладает низким содержанием обменного кальция — 356-374 мг/кг почвы, при том что оптимальное его содержание составляет 700-800 мг/кг. К тому же основная масса корней картофеля сосредотачивается в основном в подпахотном горизонте ( $B_r$ ) дерново-подзолистых почв, который является переходным к иллювиальному и характеризуется низким плодородием (табл. 1).

Плодородие пахотных почв по основным агрохимическим показателям за последние 20 лет в большинстве субъектов Российской Федерации существенно ухудшилось [17]. Во многих регионах почвы характеризуются недостаточным содержанием подвижных форм магния, кальция, серы, микроэлементов и требуют для обеспечения сбалансированного питания растений внесения научно обоснованных доз и форм удобрений.

Примером эффективного внесения удобрений, с точки зрения плодородия дерново-подзолистой супесчаной почвы и продуктивности картофеля, являются данные по применению нового отечественного магнийсодержащего гранулированного удобрения АгроМаг (60% MgO) (табл. 3).

Прибавка урожайности сорта картофеля Жуковский ранний от проведения прикорневых подкормок магнийсодержащим удобрением в дозах  $Mg_{100-200}$  составила 2,6-4,5 т/га или 13,6-23,6% к минеральному контролю, а содержание обменного магния в пахотном слое почвы повысилось на 2,8-3,4 мг/100 г почвы или до 137-143 мг/кг, что полностью покрывает ежегодные

потери этого элемента. Результаты этого опыта (табл. 3) и данные таблицы 2 свидетельствуют о том, что в первом минимуме в дерново-подзолистой почве в настоящее время оказались обменные кальций и магний, а не три основных элемента питания: N, P и K.

В связи с этим представляют несомненный интерес результаты полевых опытов по использованию в качестве мелиоранта KKK в 2021 г. (табл. 4). В полевых опытах с двумя сортами картофеля Белоснежка и Ред Скарлетт в условиях Московской области на дерново-подзолистой супесчаной/среднесуглинистой почве установлено, что применение KKK в дозах 3-6 и 4-9 т/га способствовало улучшению

кисотно-основных свойств почв, что обусловило повышение плодородия почвы и продуктивности картофеля.

Внесение KKK весной под культивацию зяби перед посадкой двух сортов картофеля на двух разностях дерново-подзолистой почвы способствовало повышению урожайности культуры. Прибавка урожайности за счет внесения KKK в 3-м (Фон + 3 и 4 т/га) и 4-м (Фон + 6 и 9 т/га) вариантах достигала: на сорте Белоснежка — 1,8-3,6 т/га (11,6-23,2%) и на сорте Ред Скарлетт — 0,4-1,5 т/га (1,7-6,5%). Применение KKK оказывало положительное влияние также на структуру урожая — наблюдалось увеличение товарности.

Таблица 2. Агрохимическая характеристика дерново-подзолистой супесчаной почвы опытного участка ЭБ «Коренево», Московская область

Table 2. Agrochemical characteristics of sod-podzolic sandy loam soil of the experimental site of the Korenevo EB, Moscow region

Год	$pH_{ксл}$	$H_r$	$S$	CaO	MgO	$P_2O_5$	$K_2O$	$V$
		мг-экв /100 г почвы		мг/кг почвы				%
2019	4,5-4,7	3,2-3,4	2,1-2,7	366	103	357-366	90-95	38,2-45,8
2020	4,4-4,7	3,3-3,6	2,0-2,6	398	112	350-368	107-130	37,7-41,9
2021	4,1-4,3	3,9-4,1	2,0-2,2	362	94	343-358	93-110	32,8-36,1
2022	4,4-4,5	4,0-4,1	1,9-2,1	361	101	378-395	70-80	31,7-34,4
2023	3,9-4,1	3,4-4,1	1,6-1,9	349	94	362-384	94-107	28,1-35,8
Среднее	4,3-4,5	3,6-3,9	1,9-2,3	358	101	356-374	91-104	33,7-38,8

Таблица 3. Урожайность картофеля и показатели плодородия почвы в зависимости от применения минеральных удобрений (2021 г.)

Table 3. Potato yield and soil fertility indicators depending on the use of mineral fertilizers (2021)

№	Варианты	Урожайность, т/га	$pH_{ксл}$	$H_r$	$S$	$V, \%$	$K_2O$	Mg
				мг-экв/100 г почвы			мг/кг почвы	
1	Без удобрений	16,9	4,5	3,27	2,3	41,3	149	94
2	$N_{116}P_{116}K_{152}$	19,1	4,5	3,73	2,7	42,0	168	109
3	$N_{116}P_{116}K_{152} + Mg_{100}$ (ArpoMar)	21,7	4,7	3,46	3,0	46,4	168	131
4	$N_{116}P_{116}K_{152} + Mg_{100}$ ( $MgSO_4$ )	22,1	4,7	3,51	3,1	46,9	181	137
5	$N_{116}P_{116}K_{152} + Mg_{200}$ (ArpoMar)	23,6	4,9	3,32	3,2	49,1	183	143
	$HCP_{05}$	1,5	0,2	0,2	0,3	2,6	19	21

Таблица 4. Урожайность и товарность картофеля в зависимости от применения карбоната кальция конверсионного ( $CaCO_3$ ) (2021 г.)

Table 4. Yield and marketability of potatoes depending on the use of conversion calcium carbonate ( $CaCO_3$ ) (2021)

Варианты	Валовой урожай, т/га	Товарность, %	Прибавка урожая к контролю		Прибавка урожая к фону	
			т/га	%	т/га	%
<b>Сорт Белоснежка, дерново-подзолистая супесчаная, ЭБ «Коренево»</b>						
1. Без удобрений	11,7	81,0	-	-	-	-
2. Фон $N_{90}P_{90}K_{90}$	15,5	89,4	3,8	32,5	-	-
3. Фон + 3 т/га $CaCO_3$	17,3	90,5	5,6	47,9	1,8	11,6
4. Фон + 6 т/га $CaCO_3$	19,1	89,0	7,4	63,2	3,6	23,2
$HCP_{05}$	1,4	1,3				
<b>Сорт Ред Скарлетт, дерново-подзолистая среднесуглинистая, с. Заворово</b>						
1. Без удобрений	17,0	82,6	-	-	-	-
2. Фон $N_{90}P_{90}K_{90}$	23,1	98,3	6,1	35,9	-	-
3. Фон + 4 т/га $CaCO_3$	24,6	96,3	7,6	44,7	1,5	6,5
4. Фон + 9 т/га $CaCO_3$	23,5	92,8	6,5	38,2	0,4	1,7
$HCP_{05}$	1,1	2,1				



Таблица 5. Показатели качества клубней картофеля в зависимости от применения карбоната кальция конверсионного (CaCO<sub>3</sub>) (2021 г.)

Table 5. Quality indicators of potato tubers depending on the use of calcium carbonate conversion (CaCO<sub>3</sub>) (2021)

Варианты	Сухое вещество, %	Крахмал, %	Витамины С, мг%	Нитраты, мг/кг клубней
<b>Сорт Белоснежка, ЭБ «Коренево»</b>				
1. Без удобрений	29,1	23,3	51,1	123
2. Фон — N <sub>90</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub>	27,1	21,3	46,2	409
3. Фон + 3 т/га CaCO <sub>3</sub>	26,6	20,9	49,5	424
4. Фон + 6 т/га CaCO <sub>3</sub>	26,9	21,2	46,5	518
НСР <sub>05</sub>	0,7	0,5	3,7	114
<b>Сорт Ред Скарлетт, с. Заорово</b>				
1. Без удобрений	19,2	12,8	22,4	135
2. Фон — N <sub>90</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub>	18,0	12,2	25,1	234
3. Фон + 4 т/га CaCO <sub>3</sub>	18,0	12,2	25,4	258
4. Фон + 9 т/га CaCO <sub>3</sub>	18,1	12,4	24,5	269
НСР <sub>05</sub>	0,5	0,4	1,6	91

Таблица 6. Физико-химические свойства почвы в зависимости от применения карбоната кальция конверсионного (CaCO<sub>3</sub>) за вегетацию 2021 г.

Table 6. Physical and chemical properties of soil depending on the application of conversion calcium carbonate (CaCO<sub>3</sub>) during the vegetation of 2021

Варианты	рН <sub>КСЛ</sub>		Нг, мг-экв/100 г почвы		S, мг-экв/100 г почвы		V, %	
	весна/осень	±ΔрН	весна/осень	±ΔНг	весна/осень	±ΔS	весна/осень	±ΔV
<b>Дерново-подзолистая супесчаная, ЭБ «Коренево»</b>								
1. Без удобрений	4,93/4,64	-0,29	2,86/3,16	0,30	2,43/2,03	-0,40	44,2/38,7	-5,5
2. Фон N <sub>90</sub> P <sub>90</sub> K <sub>120</sub>	4,98/4,67	-0,31	2,98/3,38	0,40	2,63/2,17	-0,46	46,9/39,1	-7,8
3. Фон + 3 т/га CaCO <sub>3</sub>	4,95/5,89	0,94	3,14/1,49	-1,65	2,73/5,03	2,30	46,5/71,2	24,7
4. Фон + 6 т/га CaCO <sub>3</sub>	4,99/6,70	1,71	2,94/0,69	-2,25	2,70/6,90	4,20	47,8/90,9	43,1
НСР <sub>05</sub>	0,11		0,28		0,30		5,3	
<b>Дерново-подзолистая среднесуглинистая, с. Заорово</b>								
1. Без удобрений	5,05/5,03	-0,02	3,91/3,93	0,02	12,9/13,0	0,01	76,7/76,7	0
2. Фон N <sub>90</sub> P <sub>90</sub> K <sub>120</sub>	5,00/5,19	0,19	3,96/3,75	-0,21	12,7/14,9	2,2	76,2/78,4	2,2
3. Фон + 4 т/га CaCO <sub>3</sub>	5,00/6,57	1,57	3,96/0,80	-3,16	12,7/31,1	18,4	76,2/97,4	21,2
4. Фон + 9 т/га CaCO <sub>3</sub>	4,95/6,85	1,90	3,89/0,53	-3,36	12,1/44,4	32,3	75,7/98,8	23,1
НСР <sub>05</sub>	0,12		0,32		0,90		2,5	

Таблица 7. Влияние карбоната кальция конверсионного (ККК) на смещение агрохимических показателей дерново-подзолистой почвы

Table 7. Effect of conversion calcium carbonate (CCC) on the displacement of agrochemical parameters of podzolic soil

Дозы конверсионного мела, т/га	Максимальный сдвиг показателей				Сдвиг показателей от 1 т ККК			
	рН <sub>КСЛ</sub>	Нг		V, %	рН <sub>КСЛ</sub>	Нг		V, %
		мг-экв/100 г				S		
<b>Дерново-подзолистая супесчаная, ЭБ «Коренево»</b>								
3,0	0,94	-1,65	2,30	24,7	0,31	-0,55	0,77	8,2
6,0	1,71	-2,25	4,20	43,1	0,29	-0,38	0,70	7,2
<b>Дерново-подзолистая среднесуглинистая, с. Заорово</b>								
4,0	1,57	-3,16	18,4	21,2	0,39	-0,79	4,60	5,3
9,0	1,90	-3,36	32,3	23,1	0,21	-0,37	3,59	2,6

Применение минеральных удобрений приводило к существенному росту продуктивности и одновременно снижало содержание основных питательных компонентов в клубнях картофеля по сравнению с неудобренным вариантом (табл. 5), что является проявлением объективного закона природы — взаимосвязь количества и качества объекта. Несмотря на существенное повышение урожайности, качество продукции в вариантах с применением ККК (3-й и 4-й варианты) не было хуже, чем в фоновом варианте (изменения в пределах НСР<sub>05</sub>).

Одной из отрицательных сторон химизации в интенсивных технологиях возделывания картофеля является повышенное содержание не утилизированного нитратного азота в продукции. В условиях 2021 г. (засуха) уровень нитратов в клубнях на вариантах с удобрениями и мелиорантом был высоким — 409-518 мг/кг и 234-269 мг/кг (ПДК=250 мг/кг сырых клубней), однако, различия в их концентрации по вариантам опыта (со 2-го по 4-й вариант) были математически не доказуемы (колебания в пределах НСР<sub>05</sub>).

Агрохимическая и эколого-токсикологическая оценка применения карбоната кальция конверсионного. Применение ККК обеспечило снижение всех видов почвенной кислотности в первый же год известкования (2021 г.). В опытах на двух разностях дерново-подзолистой почвы успешной/среднесуглинистой в вариантах с применением конверсионного мела (Фон + 3-6/4-9 т/га CaCO<sub>3</sub>) наблюдался сдвиг кислотности в сторону подщелачивания среды на 0,94-1,71/1,57-1,90 ед. рН и снижение гидролитической кислотности пропорционально внесенным дозам мелиоранта на 1,65-2,25/3,16-3,36 мг-экв/100 г почвы.

Внесение ККК способствовало обогащению дерново-подзолистой супесчаной/среднесуглинистой почвы обменными основаниями: сумма обменных оснований и степень насыщенности ими в вариантах с применением конверсионного мела (Фон + 3-6/4-9 т/га CaCO<sub>3</sub>) повысились на 2,30-4,20/18,4-32,3 мг-экв/100 г почвы и на 24,7-43,1/21,2-23,1% по сравнению со значениями в весенних образцах почвы (табл. 6).

Сдвиги агрохимических показателей в нейтральную сторону закономерно увеличивались с увеличением доз мелиоранта (табл. 7). Однако при пересчете сдвигов реакции почвенной среды на 1 т мела отмечается снижение эффективности двойной дозы (6,0 и 9,0 т/га) по сравнению с полной (3,0 и 4,0 т/га) на обоих почвенных разностях.

В 2021 г. после уборки картофеля на двух разностях дерново-подзолистой почвы супесчаной/среднесуглинистой в варианте без удобрений отмечено достоверное снижение содержания обменного калия на 26-30 мг/кг по сравнению с соответствующим весенним значением, что объясняется низкой естественной обеспеченностью этим элементом, засухой и высоким биологическим и хозяйственным выносом калия картофелем (табл. 8).

В варианте с полной дозой НРК баланс калия несколько улучшился, однако, также был отрицательным — -18/-1 мг/кг, то есть доза калия 90 кг/га по д.в. была недостаточна для создания положительного баланса этого элемента даже на среднесуглинистой почве. Тенденция к положительному балансу калия отмечалась при внесении минеральных удобрений по известкованным фонам (N<sub>90</sub>P<sub>90</sub>K<sub>90</sub> + 3-6 т/га CaCO<sub>3</sub>) на супесчаной разности и достоверно



положительный баланс +21-48 мг/кг в вариантах с ККК:  $N_{90}P_{90}K_{90} + 4-9$  т/га  $CaCO_3$ , на среднесуглинистой почвенной разности.

Содержание обменного кальция и стронция увеличивалось пропорционально вносимым дозам мела: на 283-353/540-670 и 4,2-6,4/8,4-9,0 мг/кг соответственно по сравнению с содержанием этих элементов в почвенных разностях (супесчаная/среднесуглинистая) весной. Соотношение Ca:Sr в весенних образцах супесчаной/среднесуглинистой разностей почвы колебалось в интервалах 127-151/99-141, а в осенних — 95-137/89-119, причем минимальное значение интервалов соответствовало вариантам с максимальными дозами мела ( $N_{90}P_{90}K_{90} + 6$  или 9 т/га  $CaCO_3$ ), а максимальное — вариантам без удобрений при ориентировочном безопасном уровне Ca:Sr=140 [6, 7].

Прогноз возможного загрязнения почвы Sr можно произвести и расчетным способом. Известно, что утвержденных нормативов на ПДК стронция в почве нет. Среднее содержание стронция в почве составляет 0,03% или 300 мг/кг. Таким образом, чтобы довести содержание этого элемента до критического уровня его необходимо удвоить или внести дополнительно 300 мг/кг почвы стронция, что соответствует 900 кг/га или 62 т/га конверсионного мела. Учитывая периодичность внесения 1 раз в 6 лет, период времени, в течение которого поступит такое количество мела, составит 74 года.

Приведенные расчеты, хотя и имеют определенную условность, так как не учитывают отчуждение из почвы с урожаями и инфильтрационными водами, все же дают объективный научный прогноз использования отходов

промышленности, как источников загрязнения токсическими элементами.

В ботве двух сортов картофеля (Белоснежка/Ред Скарлетт) содержание кальция составляло 12203-15847/13797-18063 мг/кг, стронция — 43-102/64-107 мг/кг, причем наименьшие значения интервалов соответствовали вариантам без удобрений, а наибольшие — максимальным дозам мела (6 и 9 т/га) (табл. 9).

В вариантах с максимальными дозами ККК: 6 и 9 т/га  $CaCO_3$  содержание кальция и стронция в ботве возрастало соответственно в 1,3/1,3 и в 2,4/1,7 раза по сравнению со значениями вариантов без удобрений. Эти данные указывают на то, что поступление стронция в ботву картофеля под влиянием ККК повышалось в больших масштабах, чем кальция, вследствие этого соотношение Ca:Sr сужалось с 284 (без удобрений) до 162 (Фон + 6 т/га  $CaCO_3$ ) и с 215-222 до 170 (Фон + 9 т/га  $CaCO_3$ ).

При этом следует обратить внимание, что в варианте с применением одних минеральных удобрений и в варианте совместного применения минеральных удобрений с низкой дозой мела ( $N_{90}P_{90}K_{90} + 3$  т/га  $CaCO_3$ ) на супесчаной почве соотношение Ca:Sr было одного порядка и составляло 185 и 182. Следовательно, при использовании минеральных удобрений (причем в средних дозах) мы можем столкнуться с поступлением стронция в продукты питания, особенно на легких почвах. В клубнях двух сортов картофеля (Белоснежка/Ред Скарлетт) содержание кальция находилось в интервалах 888-1313/908-1337 мг/кг, стронция — 2,0-7,2/2,5-7,9 мг/кг, при этом наименьшие значения интервалов, так же, как и в ботве, соответствовали вариантам без удобрений, а наибольшие — максимальным дозам мела (6 и 9 т/га).

Поступление стронция в клубни картофеля обоих сортов (Белоснежка/Ред Скарлетт) под влиянием ККК возрастало в больших масштабах, чем кальция, вследствие этого соотношение Ca:Sr сужалось с 453 до 184 (Фон + 6 т/га  $CaCO_3$ ) и с 369 до 170 (Фон + 9 т/га  $CaCO_3$ ). Однако нарушения экологических норм не выявлено. Полученные нами данные подтверждают гипотезу о том, что загрязнение растительной продукции стронцием и резкое нарушение соотношения Ca:Sr в случае применения ККК маловероятно.

**Заключение.** ККК может применяться в качестве известкового удобрения на всех почвах пашни и кормовых угодий, имеющих уровень реакции среды ниже оптимального. В севооборотах с картофелем известкование почв ККК рекомендуется проводить в сочетании с применением магниевых удобрений. Несмотря на сравнительно высокое накопление стронция в клубнях картофеля (4,7-7,2/6,5-7,9 мг/кг) обоих сортов (Белоснежка/Ред Скарлетт) отношение Ca:Sr во всех вариантах с ККК было на уровне 184-453 и 170-369, что выше порогового значения. Продукция, выращенная на двух разностях дерново-подзолистой почвы (супесчаная/среднесуглинистая) с использованием средней дозы минеральных удобрений ( $N_{90}P_{90}K_{90}$ ) на кислой почве и произведенной карбонатом кальция конверсионным во всех дозах: 3-6 т/га и 4-9 т/га, по соотношению Ca:Sr находилась выше пороговой величины — 140 и характеризовалась как экологически безопасная.

ККК можно вносить непосредственно под картофель. Для широкого применения карбоната кальция конверсионного в качестве мелиоранта в практике картофелеводства следует

Таблица 8. Содержание калия, кальция и стронция почвы в зависимости от применения ККК ( $CaCO_3$ ) за вегетацию 2021 г., мг/кг

Table 8. Potassium, calcium and strontium content of soil depending on SSC ( $CaCO_3$ ) application for vegetation 2021, mg/kg

Варианты	K <sub>2</sub> O		Ca		Sr		Ca:Sr	
	весна/осень	±Δ K <sub>2</sub> O	весна/осень	±Δ Ca	весна/осень	±Δ Sr	весна/осень	±Δ Ca:Sr
<b>Дерново-подзолистая супесчаная, ЭБ «Коренево»</b>								
1. Без удобрений	122/92	-30	717/616	-101	5,1/4,5	-0,6	151/137	-14
2. Фон $N_{90}P_{90}K_{120}$	135/117	-18	706/824	118	5,9/8,1	2,2	127/104	-23
3. Фон + 3 т/га $CaCO_3$	127/122	-5	668/951	283	5,2/9,4	4,2	138/107	-31
4. Фон + 6 т/га $CaCO_3$	129/131	2	730/1083	353	5,2/11,6	6,4	145/95	-50
НСР <sub>05</sub>	15		115		0,9		-	
<b>Дерново-подзолистая среднесуглинистая, с. Заворово</b>								
1. Без удобрений	177/151	-26	1013/1140	127	9,0/9,6	0,6	113/119	6
2. Фон $N_{90}P_{90}K_{120}$	187/186	-1	1073/1333	260	10,5/11,6	1,1	102/115	13
3. Фон + 4 т/га $CaCO_3$	197/245	48	1015/1555	540	7,2/15,6	8,4	141/100	-41
4. Фон + 9 т/га $CaCO_3$	193/214	21	1118/1788	670	11,3/20,3	9,0	99/89	-10
НСР <sub>05</sub>	20		130		4,3		-	

Таблица 9. Влияние карбоната кальция конверсионного на содержание и соотношение кальция и стронция в растениях картофеля (2021 г.)

Table 9. Effect of conversion calcium carbonate on the content and ratio of calcium and strontium in potato plants (2021)

Варианты	Содержание в ботве (на сухое вещество)			Содержание в клубнях (на сухое вещество)		
	Ca, мг/кг	Sr, мг/кг	Ca:Sr	Ca, мг/кг	Sr, мг/кг	Ca:Sr
<b>Дерново-подзолистая супесчаная, сорт Белоснежка</b>						
1. Без удобрений	12203	43	284	888	2,0	453
2. Фон $N_{90}P_{90}K_{90}$	14023	76	185	1080	3,0	360
3. Фон + 3 т/га $CaCO_3$	15847	87	182	1157	4,7	248
4. Фон + 6 т/га $CaCO_3$	16520	102	162	1313	7,2	184
<b>Дерново-подзолистая среднесуглинистая, сорт Ред Скарлетт</b>						
1. Без удобрений	13797	64	215	908	2,5	369
2. Фон $N_{90}P_{90}K_{90}$	14963	69	222	1145	5,0	232
3. Фон + 4 т/га $CaCO_3$	16633	81	204	1223	6,5	191
4. Фон + 9 т/га $CaCO_3$	18063	107	170	1337	7,9	170



рекомендовать его малые дозы — 3 и 4 т/га, соответственно для дерново-подзолистой супесчаной и среднесуглинистой почвенных разностей, что в условиях 2021 г. обеспечило прибавку урожайности двух сортов картофеля Ред Скарлетт и Белоснежка 7-12% к минеральному фону. Мелиорация карбонатом кальция конверсионным в дозах 3 и 4 т/га способствовала снижению кислотности почвы, повышению суммы и степени насыщенности основаниями, обменного кальция, при этом соотношение Ca:Sr находилось выше пороговой величины, оказывающей токсическое действие.

**Список источников**

1. Шильников И.А., Сычев В.Г., Зеленев Н.А., Аканова Н.И., Федотова Л.С. Известкование как фактор урожайности и почвенного плодородия. М.: ВНИИА, 2008. С. 313.
2. Шильников И.А., Сычев В.Г., Шеуджен А.Х., Аканова Н.И. Потери питательных элементов растений: монография. Deutschland: Lambert Academic Publishing, OmniScriptum GmbH & Co. KG, 2015. 502 с.
3. Хлевной Б.Ф., Заикин Д.В., Замотаев А.И. и др. Возделывание картофеля по интенсивной технологии: агрономическая тетрадь / под общ. ред. Б.В. Хлевного. М.: Россельхозиздат, 1986. 96 с.
4. Симаков Е.А., Анисимов Б.В., Коршунов А.В. и др. Возделывание картофеля в сельскохозяйственных предприятиях и хозяйствах населения. Практическое руководство. М.: ВНИИХХ, Россельхозакадемия, 2005. 111 с.
5. Хоботьев В.Г. Некоторые материалы и характеристика уровских биогеохимических провинций // Труды Биогеохимической лаборатории Академии наук СССР. XI. 1960. С. 31-48.
6. Ковальский В.В., Засорина Е.Ф. К биогеохимии стронция // Агрохимия. 1965. № 4. С. 78-88.
7. Виноградов А.П. Закономерности распределения микроэлементов. В сб.: Микроэлементы в жизни растений и животных. М., 1952. С. 28-41.
8. Шеуджен А.Х., Аканова Н.И., Бондарева Т.Н. Агрохимия. Ч. 6. Экологическая агрохимия. Краснодар: КубГАУ, 2018. 575 с.
9. Bollard, E., Bulter, G., 1966. Mineral nutrition of plants. In: *Ann. Rev. plant Physiol*, vol. 17, Palo Alta Calif., pp. 15-21.
10. Кашин В.К. Стронций в растениях Забайкалья // Агрохимия. 2009. № 8. С. 65-71.
11. Ильина Т.В., Рыдкий С.Г., Яновская В.Г. Поступление стабильного стронция в растения в зависимости от некоторых элементов питания // Агрохимия. 1966. № 2. С. 18-26.

12. Пушкарева Н.Г., Маковский Р.Д. Влияние химелиорантов на поступление стронция в растения // Агрохимический вестник. 2008. № 3. С. 13-15.
13. Ширшова Р.А. Влияние стабильного стронция на рост растений // Агрохимия. 1968. № 8. С. 111-117.
14. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., доп. и перераб. М.: Агропромиздат, 1985. 336 с.
15. Бацанов Н.С. Повышение продуктивности растения картофеля. М., 1969. С. 16-17.
16. Федотова Л.С. Условия минерального питания, продуктивность и качество картофеля // Агрохимия. 2003. № 2. С. 31-36.
17. Алиев А.М., Варламов В.А., Ваулина Г.И. и др. Комплексное применение агрохимических средств — основа высокой продуктивности и устойчивости // Плодородие. 2009. № 2 (47). С. 5-8.
18. Методика проведения агротехнических опытов, учетов, наблюдений и анализов на картофеле / ФГБНУ ВНИИХХ. М., 2019. 120 с.

**References**

1. Shil'nikov, I.A., Sychev, V.G., Zelenov, N.A., Akanova, N.I., Fedotova, L.S. (2008). *Izvestkovanie kak faktor urozhainosti i pochvennogo plodorodiya* [Liming as a factor of productivity and soil fertility]. Moscow, VNIIA Publ., p. 313.
2. Shil'nikov, I.A., Sychev, V.G., Sheudzhen, A.Kh., Akanova, N.I. (2015). *Poteri pitatel'nykh ehlementov rastenii: monografiya* [Losses of nutrient elements of plants: monograph]. Deutschland: Lambert Academic Publishing, OmniScriptum GmbH & Co. KG, 502 p.
3. Khlevnoi, B.F., Zaikin, D.V., Zamotaev, A.I. i dr. (1986). *Vozdelyvanie kartofelya po intensivnoi tekhnologii: agronomicheskaya tetrad'* [Cultivation of potatoes according to intensive technology: agronomic notebook]. Moscow, Rossel'khozizdat Publ., 96 p.
4. Simakov, E.A., Anisimov, B.V., Korshunov, A.V. i dr. (2005). *Vozdelyvanie kartofelya v sel'skokhozyaystvennykh predpriyatiyakh i khozyaystvakh naseleniya. Prakticheskoe rukovodstvo* [Cultivation of potatoes in agricultural enterprises and households of the population. Practical guide]. Moscow, VNIKH, Russian Agricultural Academy, 111 p.
5. Khotob'ev, V.G. (1960). *Nekotorye materialy i kharakteristika urovskikh biogeokhimicheskikh provintsiy* [Some materials and characteristics of the Urovsk biogeochemical provinces]. *Trudy Biogeokhimicheskoi laboratorii Akademii nauk SSSR* [Proceedings of the Biogeochemical laboratory of the Academy of Sciences of the USSR], vol. XI, pp. 31-48.
6. Koval'skii, V.V., Zasorina, E.F. (1965). *K biogeokhimii strontsiya* [On strontium biogeochemistry]. *Agrokimiya* [Agricultural chemistry], no. 4, pp. 78-88.

7. Vinogradov, A.P. (1952). *Zakonomernosti raspredeleniya mikroehlementov* [Regularities of the distribution of microelements]. In: *Mikroehlementy v zhizni rastenii i zhivotnykh* [Microelements in the life of plants and animals]. Moscow, pp. 28-41.
8. Sheudzhen, A.Kh., Akanova, N.I., Bondareva, T.N. (2018). *Agrokimiya. Ch. 6. Ehkologicheskaya agrokimiya* [Agrokimiya. Part 6. Ecological agrochemistry]. Krasnodar, Kuban State Agrarian University, 575 p.
9. Bollard, E., Bulter, G., 1966. Mineral nutrition of plants. In: *Ann. Rev. plant Physiol*, vol. 17, Palo Alta Calif., pp. 15-21.
10. Kashin, V.K. (2009). *Strontsii v rasteniyakh Zabaikal'ya* [Strontium in plants of Transbaikalia]. *Agrokimiya* [Agricultural chemistry], no. 8, pp. 65-71.
11. Il'ina T.V., Rydkii S.G., Yanovskaya V.G. (1966). *Postuplenie stabil'nogo strontsiya v rasteniya v zavisimosti ot nekotorykh ehlementov pitaniya* [Entry of stable strontium into plants depending on some elements of nutrition]. *Agrokimiya* [Agricultural chemistry], no. 2, pp. 18-26.
12. Pushkareva, N.G., Makovskii, R.D. (2008). *Vliyanie khimmeliiorantov na postuplenie strontsiya v rasteniya* [Influence of chimmeliiorants on the supply of strontium in plants]. *Agrokhimicheskii vestnik* [Agrochemical herald], no. 3, pp. 13-15.
13. Shirshova, R.A. (1968). *Vliyanie stabil'nogo strontsiya na rost rastenii* [Influence of stable strontium on plant growth]. *Agrokimiya* [Agricultural chemistry], no. 8, pp. 111-117.
14. Dospekhov, B.A. (1985). *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniy)* [Methods of field experience (with the basics of statistical processing of research results)]. Moscow, Agropromizdat Publ., 336 p.
15. Batsanov, N.S. (1969). *Povyshenie produktivnosti rasteniya kartofelya* [Increasing the productivity of potato plants]. Moscow, pp. 16-17.
16. Fedotova, L.S. (2003). *Usloviya mineral'nogo pitaniya, produktivnost' i kachestvo kartofelya* [Conditions of mineral nutrition, productivity and quality of potatoes]. *Agrokimiya* [Agricultural chemistry], no. 2, pp. 31-36.
17. Aliev, A.M., Varlamov, V.A., Vaulina, G.I. i dr. (2009). *Kompleksnoe primeneniye agrokhimicheskikh sredstv — osnova vysokoi produktivnosti i ustoiichivosti* [Integrated use of agrochemicals is the basis for high productivity and sustainability]. *Plodorodie* [Fertility], no. 2 (47), pp. 5-8.
18. FSBI VNIKH (2019). *Metodika provedeniya agrotekhnicheskikh opytov, uchetrov, nablyudeniy i analizov na kartofele* [Methodology for conducting agro-technical experiments, records, observations and analyses on potatoes]. Moscow, 120 p.

**Информация об авторах:**

**Федотова Людмила Сергеевна**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5358-4992>, Researcher ID: D-3338-2018, [ldfedotova@gmail.com](mailto:ldfedotova@gmail.com)  
**Аканова Наталья Ивановна**, доктор биологических наук, профессор, заведующая лабораторией агрохимии органических, известковых удобрений и химической мелиорации, Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3153-6740>, [n\\_akanova@mail.ru](mailto:n_akanova@mail.ru)  
**Тимошина Наталья Александровна**, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующая лабораторией агрохимии и биохимии, Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5204-7922>, [n-timoshina-1@yandex.ru](mailto:n-timoshina-1@yandex.ru)  
**Князева Елена Валерьевна**, старший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7336-222X>, [elenak-73@rambler.ru](mailto:elenak-73@rambler.ru)  
**Арсентьев Илья Алексеевич**, младший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха, ORCID: <http://orcid.org/0009-0002-3243-253X>, [ilya.arsentev29@gmail.com](mailto:ilya.arsentev29@gmail.com)

**Information about the authors:**

**Ludmila S. Fedotova**, doctor of agricultural sciences, professor, chief researcher, Federal Potato Research Center named after A.G. Lorch, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5358-4992>, Researcher ID: D-3338-2018, [ldfedotova@gmail.com](mailto:ldfedotova@gmail.com)  
**Natalia I. Akanova**, doctor of biological sciences, professor, head of the laboratory of agrochemistry of organic, lime fertilizers and chemical reclamation, All-Russian Research Institute of Agrochemistry named after D.N. Pryanishnikov, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3153-6740>, [n\\_akanova@mail.ru](mailto:n_akanova@mail.ru)  
**Natalya A. Timoshina**, candidate of agricultural sciences, head of the laboratory of agrochemistry and biochemistry, Federal Potato Research Center named after A.G. Lorch, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5204-7922>, [n-timoshina-1@yandex.ru](mailto:n-timoshina-1@yandex.ru)  
**Elena V. Knyazeva**, senior researcher, Federal Potato Research Center named after A.G. Lorch, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7336-222X>, [elenak-73@rambler.ru](mailto:elenak-73@rambler.ru)  
**Ilya A. Arsentev**, junior researcher, Federal Potato Research Center named after A.G. Lorch, ORCID: <http://orcid.org/0009-0002-3243-253X>, [ilya.arsentev29@gmail.com](mailto:ilya.arsentev29@gmail.com)

