

УДК: 631.841.7:546.17-3/.175:634/635

## Особенности накопления нитрат- и нитрит-ионов плодовоовощными культурами в различные сроки внесения карбамида в почву после посадки

А.В. ХАДАНОВИЧ, Я.А. ДЕНИСЕНКО

В условиях однофакторного микрополевого опыта изучен характер накопления нитрат- и нитрит-ионов представителями семейства Тыквенные и семейства Пасленовые при разовом и трехкратном внесении в почву рассчитанных доз азотсодержащего удобрения карбамида. Установлено, что приемлемо внесение карбамида в почву в несколько этапов – через 10 дней после посадки растений, через 14 дней – до начала цветения и в период созревания плодов. Показана взаимосвязь содержания нитрат- и нитрит-ионов в растениях и их характер накопления в плодовоовощной продукции в соответствии с сезонами года.

**Ключевые слова:** нитрат-ионы, нитрит-ионы, минеральные удобрения, карбамид, ПДК, ионометрический метод.

The character of the accumulation of nitrate and nitrite ions by representatives of the Cucurbitaceae kind and the Solanaceae kind with a single and triple application of calculated doses of nitrogen-containing urea fertilizer into the soil was studied under the conditions of a one-factor microfield experiment. It has been established that the introduction of urea into the soil in several stages is most acceptable – 10 days after planting, 14 days before the flowering and during the ripening period. The relationship between the content of nitrate and nitrite ions in plants and their nature of accumulation in vegetables in accordance with the seasons of the year are shown.

**Keywords:** nitrate ions, nitrite ions, mineral fertilizers, urea, MPC, ionometric method.

**Введение.** Наряду с традиционным решением задач использования нитратного азота как источника азотного питания растений и оптимизации эколого-агрохимических условий, влияющих на формирование урожая и его качество, возникли вопросы экологических последствий аккумуляции нитратов в почве, воде, растениях, атмосфере, воздействия их на здоровье человека. Изучение вопросов, посвященных поступлению и трансформации соединений азота в системе «почва – растение», является актуальным [1].

Растения содержат различные азотсодержащие соединения, в частности, катионы аммония, нитрат- и нитрит-ионы, образующиеся в ходе ряда биохимических процессов. Источниками азота для растений являются азот, поступающий с атмосферными осадками, биологический азот, накапливаемый клубеньковыми бактериями и микроорганизмами. Наиболее эффективным и быстродействующим фактором, способствующим повышению качества растениеводческой продукции, является применение органических и минеральных удобрений, в числе которых немаловажное место отводится карбамиду ( $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ), содержащему до 46 % азота и применяемому в основном в качестве подкормки с заделкой в почву, реже – для внекорневой подкормки (тогда азот поступает в растение через листья) [2], [3].

**Цель исследований** – изучение характера накопления нитрат- и нитрит-ионов плодовоовощными культурами в различные сроки внесения карбамида в почву после посадки.

**Объект исследования:** образцы дерново-подзолистой супесчаной почвы приусадебного хозяйства г. Речица и плодовоовощные культуры, принадлежащие к следующим семействам: семейство тыквенные – Cucurbitaceae (тыква (кабачок) – *Cucurbita pepo* L.), семейство Пасленовые – Solanaceae (томат обыкновенный – *Solanum lycopersicum* L.).

С целью изучения характера накопления изучаемых ионов поставлен однофакторный микролевой опыт: растения высевались на делянках почвы площадью  $10 \times 10$  м. В почву вносился карбамид по следующей схеме (таблица 1).

Выбор применения данного удобрения обусловлен эффективностью действия на легких дерново-подзолистых почвах в зоне достаточного увлажнения по сравнению с другими азотсодержащими удобрениями [4].

Таблица 1– Схема внесения в почву минерального удобрения (карбамида)

Семейство Пасленовые – <i>Solanaceae</i> (томат обыкновенный – <i>Solanum lycopersicum</i> L.)		Семейство тыквенные – <i>Cucurbitaceae</i> (кабачок – <i>Cucurbita pepo</i> L.)	
Однократное внесение удобрения	Трехкратное внесение удобрения	Однократное внесение удобрения	Трехкратное внесение удобрения
55 г/м <sup>2</sup> (на 10 л воды)	через 10 дней после посадки 25 г/м <sup>2</sup> (на 10 л воды)	35 г/м <sup>2</sup> (на 10 л воды)	через 10 дней после посадки 15 г/м <sup>2</sup> (на 10 л воды)
	через 14 дней (до начала цветения): 25 г/м <sup>2</sup> (на 10 л воды)		через 14 дней (до начала цветения): 15 г/м <sup>2</sup> (на 10 л воды)
	Созревание плодов: 5 г/м <sup>2</sup> (на 10 л воды)		Созревание плодов: 5 г/м <sup>2</sup> (на 10 л воды)

Определение основных агрохимических характеристик почвы проводили по стандартным методикам, содержание нитрат-ионов в почве и плодоовощной продукции – потенциометрическим методом, основанном на извлечении нитрат-ионов из анализируемого материала 1 %-ным раствором алюмокалиевых квасцов с последующим измерением их концентрации с помощью ионоселективного электрода. Определение содержания нитрит-ионов осуществлялось фотоколориметрическим методом, основанном на способности нитритов диазотировать сульфаниловую кислоту. Интенсивность окраски пропорциональна содержанию нитрит-ионов [5].

**Результаты исследования и их обсуждение.** В ходе однофакторного микрополевого опыта определены агрохимические характеристики почв. Содержание гумуса в изучаемой почве 2,41 % (для данного типа почв показатель гумуса лежит в пределах от 1,5 % до 4 %), содержание обменного калия – 71,2 мг/кг почвы, подвижного фосфора – 97,5 мг/кг почвы, емкость катионного обмена составила 3,47 мг-ка/100г почвы, значение pH почвенной вытяжки – 5,8 единиц. Для дерново-подзолистых почв характерно низкое содержание гумуса, обменного калия и подвижного фосфора и резкое снижение их количества с глубиной профиля. Большинство дерново-подзолистых почв характеризуется сравнительно низким содержанием усвояемых (минеральных) форм азота и подвижного фосфора.

Средние значения содержания нитрат-ионов в почвенных образцах с различными сроками внесения карбамида представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Содержание нитрат-ионов в почвенных образцах (n=3, p=0,95)

Почва	Концентрация нитрат-ионов	
	июль	сентябрь
1	68,7 ± 3,3	63,3 ± 2,8
2	89,3 ± 4,2	74,8 ± 3,1
3	76,3 ± 2,9	70,2 ± 3,2

мг/кг

*Примечание:* содержание нитрат-ионов в почве: 1 – без внесения удобрения; 2 – с однократным внесением удобрения; 3 – с трехкратным внесением удобрения.

Однократное внесение удобрения в почву способствовало увеличению содержания нитрат-ионов на 30 % и 18,2 % в июле и сентябре соответственно по сравнению с образцами почвы без внесения удобрения. Внесение в почву рассчитанной дозы карбамида в три приема повлекло за собой увеличение содержания изучаемых ионов на 11,1 % и 16,9 % в июле и сентябре соответственно. Результаты однофакторного дисперсионного анализа показывают, что различия являются значимыми ( $F_{\text{факт.}}(7,13) > F_{\text{теор.}}(4,1)$ ). Количество нитрат-ионов в почве снижалось в осенний период на 7,9 %; 6,3 %; 8,0 % в почве без внесения удобрения, с однократным и трехкратным внесением карбамида соответственно по сравнению с летним периодом.

Количество исследуемых ионов в растительных культурах семейств Тыквенные (*Cucurbitaceae*) и Пасленовые (*Solanaceae*), выращенных на почвах с различными сроками внесения карбамида в почву, представлено в таблице 3.

Таблица 3 – Содержание нитрат-ионов в плодоовощной продукции, выращенной на почве с различными сроками внесения карбамида в летне-осенний периоды (n = 3, p = 0,95)

мг/кг

Исследуемые образцы растений	ПДК	Содержание нитрат-ионов		
		Без внесения удобрения	С однократным внесением удобрения	С последовательным внесением удобрения
Семейство Тыквенные – Cucurbitaceae				
Кабачок (Cucurbita pepo L.)	400	$265,1 \pm 23,7$	$640,3 \pm 41,2$	$374,3 \pm 28,1$
		$203,2 \pm 19,7$	$480,3 \pm 29,2$	$274,3 \pm 18,1$
Семейство Пасленовые – Solanaceae				
Томат (Solanum lycopersicum L.)	100	$31,4 \pm 2,5$	$47,2 \pm 4,2$	$36,6 \pm 2,2$
		$25,4 \pm 1,5$	$39,1 \pm 3,2$	$31,2 \pm 1,9$

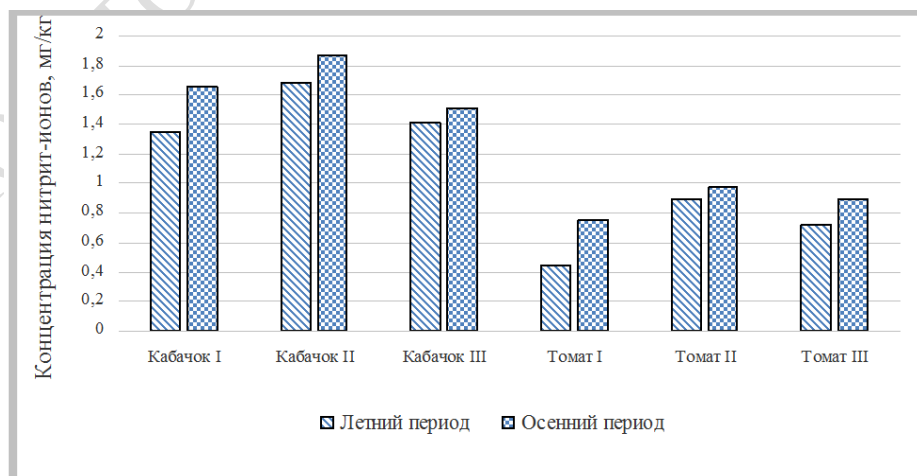
Примечание: в числителе данные в летний период; в знаменателе – в осенний период.

В период исследований максимальное содержание нитрат-ионов отмечено для кабачка (640,3 мг/кг) и для томата (47,2 мг/кг), выращенных на почве с однократным внесением минерального удобрения. Содержание исследуемых ионов в растительных образцах, выращенных на почве с внесением карбамида выше по сравнению с таковыми, выращенными на почве без внесения удобрения в летний и осенний периоды. Отмечено варьирование увеличения концентраций нитратов в растениях от 13 % до 27 % в зависимости от вида культуры.

Превышение нормы ПДК зафиксировано в пробах растений сем. Тыквенные, выращенных на участках почвы с однократным внесением карбамида на 140,3 мг/кг и 80,3 мг/кг в летний и осенний периоды соответственно, что связано с физиологическими особенностями данного вида.

Внесение карбамида в почву в различные сроки оказывает влияние на характер накопления в растениях исследуемых ионов. При однократном внесении минерального удобрения в почву для образцов семейства Тыквенные и семейства Пасленовые зафиксировано увеличение содержания нитратов на 141,5 % и 50,3 % в летний период и 36,2 % и 53,9 % в осенний период соответственно по сравнению с образцами, выращенными на удобренной почве. При внесении удобрения в почву в три приема увеличение содержания исследуемых ионов в кабачках и томатах составило 41,2 % и 11,6 % в летний период и 35,0 % и 22,8 % в осенний период соответственно по сравнению с содержанием изучаемых ионов в пробах растений, выращенных на удобренной почве.

В ходе эксперимента контролировали содержание нитрит-ионов в растениях (рисунок 1). Зафиксировано увеличение содержания ионов в образцах в осенний период, что связано с окислительно-восстановительными процессами, протекающими в растениях, меньшей физиологической активностью и накоплением промежуточных продуктов метаболизма, переходом растений в фазу созревания [6].



Растения, выращенные на почве: I – без внесения удобрения; II – с однократным внесением удобрения; III – с последовательным внесением удобрения

Рисунок 1 – Содержание нитрит-ионов в плодоовощной продукции в летне-осенний периоды

В осенний период наблюдалось возрастание содержания нитрит-ионов в растительных образцах представителей семейства Тыквенные и семейства Пасленовые, выращенных на почве с однократным внесением мочевины на 0,19 мг/кг и 0,08 мг/кг соответственно по сравнению с таковыми, выращенными в летний период.

При последовательном внесении удобрения в почву увеличение концентрации нитрит-ионов составило 0,1 мг/кг для представителей семейства Тыквенные и 0,17 мг/кг – для представителей семейства Пасленовые, по сравнению с летними образцами. Все данные статистически достоверно отличаются, так как  $F_{факт}(8,02) > F_{теор.}(4,1)$ . Результаты проведенного корреляционного анализа свидетельствуют о тесной корреляционной связи между содержанием нитрат- и нитрит-ионов в растительных образцах. При уровне значимости (т.е. вероятности допустимой ошибки в прогнозе)  $\alpha = 0,05$  и заданном числе измерений  $n$  табличное значение  $r_{крит} = 0,878$ . По полученным данным соотношение  $r_{расч}(0,993) \geq r_{крит}(0,878)$ , таким образом, с уверенностью 95 % можно полагать, что между рассматриваемыми числовыми совокупностями существует корреляционная связь.

Накопление нитрат-ионов сельскохозяйственными культурами нельзя рассматривать обособлено от содержания нитратов в почвах, на которых они произрастают. Показателем, отражающим связь содержания нитратов в системе почва – растение, является коэффициент биологического накопления (КБН) [7], [8].

Рассчитаны коэффициенты биологического накопления образцов плодовоовощной продукции, как отношение содержания нитрат-ионов в растениях к содержанию их в почве (таблица 4). Значения коэффициентов биологического накопления для томата находились в пределах от 0,35 до 0,58; для кабачка – от 3,24 до 8,42 в зависимости от условий выращивания и сроков внесения удобрения. Наибольшие значения коэффициентов отмечены для представителей семейства Тыквенные, выращенных в летний и осенний периоды на почве с однократным внесением удобрения – 8,45 и 6,81 (июль и сентябрь) соответственно.

Таблица 4 – Значения коэффициентов биологического накопления в исследуемых образцах растений

Исследуемые образцы растений	Коэффициент биологического накопления					
	1		2		3	
Месяц	июль	сентябрь	июль	сентябрь	июль	сентябрь
Томат ( <i>Solanum lycopersicum</i> L.)	0,39	0,37	0,51	0,48	0,35	0,32
Кабачок ( <i>Cucurbita pepo</i> L.)	3,91	3,24	8,42	6,81	3,67	3,21

*Примечание:* значения КБН для растений, выращенных на почве: 1 – без внесения удобрения; 2 – с однократным внесением удобрения; 3 – с трехкратным внесением удобрения.

Внесение рассчитанной дозы удобрения в почву в три приема не повлекло за собой высокой степени поглощения растительными образцами нитрат-ионов из почвы. Значения КБН для представителей сем. Тыквенные составили 3,67 и 3,21 (июль и сентябрь) соответственно, что практически приближено к показателям для растений, выращенных на почве без внесения удобрения и в 2 раза ниже по сравнению со значениями КБН образцов, выращенных на почве с однократным внесением карбамида.

При хранении овощей содержание нитратов в продукции снижалось за счет восстановительных процессов и трансформации их в нитрит-ионы. Результаты представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Содержание нитрат- и нитрит-ионов в томате при хранении в августе 2019 г.

Исследуемые образцы растений	Содержание нитрат-ионов		
	1–10	11–20	21–31
Томат ( <i>Solanum lycopersicum</i> L.)	$35,2 \pm 1,9$ $0,68 \pm 0,17$	$25,3 \pm 1,4$ $0,75 \pm 0,14$	$21,4 \pm 1,1$ $0,81 \pm 0,12$

*Примечание:* в числителе содержание нитрат-ионов; в знаменателе – нитрит-ионов.

Исследования показали, что при хранении в течение месяца происходило интенсивное уменьшение содержания нитрат-ионов в растениях на 28,1 % и 60,8 % и увеличение содержания нитрит-ионов на 9,3 %; 17,5 % через 10–20 и 20–31 дней соответственно.

**Заключение.** Результаты проведенного однофакторного микрополевого опыта показали, что внесение карбамида в почву в различные сроки после посадки растений наиболее приемлемо. Разница содержания нитрат-ионов в растениях семейства Тыквенные и семейства Пасленовые, выращенных на почве с внесением удобрения, по сравнению с растительными образцами, выращенными на почве без внесения удобрения, составила 141,5 % и 50,3 % в летний период и 36,2 % и 53,9 % в осенний период соответственно (при однократном внесении карбамида), и 41,2 % и 11,6 % в летний период; 35,0 % и 22,8 % в осенний период (при трехкратном внесении удобрения) соответственно. Наибольшее значение коэффициента биологического накопления зафиксировано для представителей семейства Тыквенные (Cucurbitaceae), выращенных в летний период на почве с однократным внесением карбамида.

При хранении плодовоовощных культур в течение месяца происходило интенсивное уменьшение содержания нитрат-ионов и пропорциональное увеличение нитрит-ионов в них.

### Литература

1. Агрохимия и система применения удобрений: учебнометодическое пособие / С.Ф. Шекунова [и др.]; под ред. И.Р. Вильдфлуша. – Горки : БГСХА, 2016. – 258 с.
2. Быстряков, В.П. Экологические основы бионеорганической и биоорганической химии: руководство к лабораторным занятиям / В.П. Быстряков. – Витебск: ВГУ им. П.М. Машерова, 2017. – 160 с.
3. Лесовая, Г.М. Оптимизация содержания нитратов в овощах и картофеле, выращиваемых на черноземе выщелоченном Кубани : автореф. дис. ... канд. с/х. наук : 06.01.04 / Г.М. Лесовая ; Рос. экон. акад. – М., 2004. – 26 с.
4. Верниченко, И.В. Ассимиляция различных форм азота растениями и роль микроэлементов: автореф. дис. ... канд. биол. наук : 06.01.04 / Г.М. Лесовая ; Рос. экон. акад. – М., 2001. – 56 с.
5. Минеев, В.Г. Агрохимия: учеб. пособие / В.Г. Минеев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : МГУ, 2004. – 720 с.
6. Повышение плодородия почв и применение удобрений: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 14 февраля 2019 г. / Институт почвоведения и агрохимии ; редкол.: В.В. Лапа [и др.]. – Минск : ИВЦ Минфина, 2019. – 158 с.
7. Степура, М.Ф. Коэффициенты использования питательных веществ овощными культурами из различной разновидности дерново-подзолистой почвы и видов удобрений в условиях орошения и в его отсутствие / М.Ф. Степура // Научно-практический журнал : Земледелие и защита растений. – 2012. – № 5 (84). – С. 39–41.
8. Гиниятуллин, Р.Х. Интенсивность биологического поглощения тяжелых металлов в органах березы повислой в условиях промышленного загрязнения / Р.Х. Гиниятуллин // Лесной вестник. – 2016. – № 2. – С. 75–80.