

DOI

УДК 633.11:631.416.14:581.19:577.15

СОДЕРЖАНИЕ АЗОТА В ПОЧВЕ И АКТИВНОСТЬ НИТРАТРЕДУКТАЗЫ В ЛИСТЬЯХ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ

Бакаева Наталья Павловна – д-р биол. наук, проф. кафедры «Садоводство, ботаника и физиология растений», ФГБОУ ВО «Самарский государственный аграрный университет».

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2.

E-mail: bakaevanp@mail.ru

Ключевые слова: пшеница, удобрения, почва, лист, активность, азот, нитратредуктаза.

Цель исследования – повышение эффективности использования азотных удобрений и процессов нитратвосстанавливающей способности листового аппарата. Исследования проводились в 2016-2018 гг. в центральной зоне Самарской области. Предшественник – чистый пар. Для посева использовали элитные семена озимой пшеницы сорта Светоч. Посев проводили на опытных полях лаборатории «Агроэкология» ФГБОУ ВО Самарского ГАУ. Определили содержание нитратного и аммонийного азота в слое почвы 0-30 см до посева и после подкормки растений азотными минеральными удобрениями по фазам развития растений (кущение, выход в трубку и колошение), содержание азота, белка и активность фермента нитратредуктазы в листьях по фазам развития растений. Характер изменения динамики содержания азота в почве и после проведённой подкормки азотными удобрениями, показывает, что в период вегетации растений количество азота достаточно для их произрастания. По мере смены фенологических фаз растений увеличивается содержание азота и белка в листьях озимой пшеницы, и повышается активность фермента нитратредуктазы, катализирующего реакцию восстановления нитрата в нитрит. Величина активности фермента нитратредуктазы в листьях может служить критерием для оценки обеспеченности растений нитратной формой азота. В дальнейшем активность данного фермента можно использовать как показатель оптимизации азотного питания растений, направленного на метаболические процессы. Применение различных азотных минеральных удобрений, и в большей степени аммиачной селитры, повышали обеспеченность растений азотом, который в дальнейшем используется ими при реутилизации азота из листьев в формирующееся семя, что способствует улучшению показателей качества зерна.

NITROGEN CONTENT IN SOIL AND NITRATE REDUCTASE ACTIVITY IN WINTER WHEAT LEAVES WITH THE USE OF NITROGEN FERTILIZERS

N. P. Bakaeva, Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department «Gardening, Botany and Physiology of Plants», FSBEI HE «Samara State Agrarian University».

446442, Samara region, settlement Ust-Kinelskiy, Uchebnaya street, 2.

E-mail: bakaevanp@mail.ru

Keywords: wheat, fertilizers, soil, leaf, activity, nitrogen, nitrate reductase.

The purpose of the study is increasing the efficiency of using nitrogen fertilizers and its effect on nitrate-reducing capacity of the leaf apparatus. The research was conducted in 2016-2018 in the Central zone of the Samara region. The predecessor is complete fellow. Svetoch winter wheat elite seed varieties were used for sowing. Seeding was carried out in the experimental fields of the laboratory «Agroecology» of the Samara state University. Nitrate and ammonium nitrogen content in soil layer of 0-30 cm depth was estimated before planting and after plant nutrition with nitrogen fertilizers in regard to the growth phases (tillering, elongation and heading), the content of nitrogen, protein and nitrate reductase enzyme activity in leaves during plant development. Dynamics changes of nitrogen content in the soil and after fertilization with nitrogen shows that during vegetation period of plants, the amount of nitrogen is sufficient for their growth. As the phenological phases of plants change, the content of nitrogen and protein in winter wheat leaves increases, and activity of the enzyme nitrate reductase lifts, which catalyzes nitrate regeneration to nitrite. The value of the activity of the enzyme nitrate reductase in leaves can serve as a criterion for evaluating the availability of plants with the nitrate form of nitrogen. In future, the activity of this enzyme can be used as an indicator of optimizing nitrogen nutrition of plants aimed at metabolic processes. The use of various nitrogen fertilizers, and to a greater extent

ammonium nitrate, increased the supply of plants with nitrogen, which is later used by them in the reutilization of nitrogen from leaves to the emerging seed, thus contributing to quality of grain.

Увеличение урожая, как и улучшение качества зерна сельскохозяйственных культур, зависит от многих факторов, в том числе собственно от протекающего метаболизма самого растения. Усвоение растениями из минеральных удобрений азота лежит в пределах 35-50% и зависит от содержания азота и типа почвы [1]. В агротехнологиях при повышении дозы удобрений интенсивность усвоения их растениями снижается. Поэтому важно изучить процесс первого этапа восстановления нитратов в нитриты, катализируемый в цепи восстановления ферментом нитратредуктазой. В настоящее время интерес к физиологической роли нитратредуктазы (1.6.6.1) растет в связи с её возможным участием в образовании оксида азота (II) в растениях. Известно, что монооксид азота участвует в передаче сигнала регуляции широкого спектра физиологических и биохимических реакций [2]. Вероятно, происходит взаимодействие NO с активными формами кислорода в клетках растений, что проявляется в стрессовых условиях, в частности, при воздействии гербицидов. В этом случае возможен запуск защитных реакций, в том числе опосредованных активными формами кислорода и азота [3].

Цель исследования – повышение эффективности использования азотных удобрений и процессов нитратвосстанавливающей способности листового аппарата.

Задачи исследования – изучение содержания нитратного и аммонийного азота в 0-30 см слое почвы до посева и после подкормки растений азотными минеральными удобрениями по фазам развития растений – кущение, выход в трубку и колошение; изучение содержания азота, белка и активности фермента нитратредуктазы в листьях по фазам развития растений.

Материалы и методы исследований. Исследования проводились в 2016-2018 гг. в центральной зоне Самарской области. Предшественник – чистый пар. Для посева использовали элитные семена озимой пшеницы сорта Светоч. Посев проводили на опытных полях лаборатории «Агроэкология» ФГБОУ ВО Самарского ГАУ. Повторность опытов трехкратная. Рельеф опытного поля выровненный. Почва опытного участка – чернозем типичный среднегумусный среднемощный тяжелосуглинистый с реакцией среды (рН) близкой к нейтральной и средним содержанием гумуса. Содержание в слое почвы 0-30 см легкогидролизуемого азота, подвижного фосфора и обменного калия повышенное или высокое. Посев проводили рядовым способом сеялкой ДМС 601 на глубину 6-8 см с нормой 5,0 млн всхожих семян/га. Для защиты растений озимой пшеницы от вредителей применялся инсектицид Эфория КС в дозе 0,2 л/га. Инсектицид Эфория относится к препаратам широкого спектра действия, носящим системный и контактный характер одновременно. Инсектицид Эфория – высокоэффективный комбинированный препарат, воздействует на вредителей и совершенно безопасен для растения и человека. Действующее вещество инсектицида – лямбда-цигалотрин, тиаметоксам. Технология возделывания посевов озимой пшеницы соответствовала научно-исследовательским разработкам кафедры землеустройства, почвоведения и агрохимии Самарского ГАУ.

Метеорологические условия в годы проведения исследований были контрастными. Повышенным температурным режимом и небольшим количеством осадков характеризовался 2015 год, ГТК равен 0,70 при среднемноголетнем значении 0,83. В 2016 году наблюдали пониженный температурный режим и большое количество осадков, ГТК=0,73. В 2017 году метеоусловия были сложными, но благоприятными, ГТК = 1,06. Длительная атмосферная засуха во второй половине июля и августе замедлила формирование продуктивности. В 2018 году погодные условия не в полной мере соответствовали нормальному развитию большинства сельскохозяйственных культур, наблюдали отдельные крайне засушливые периоды, ГТК=0,29. Все наблюдения по фазам роста, развития и другие сопутствующие исследования проводили по методике Госкомиссии по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур (1971). Наступление и определение перехода растений на следующую фенологическую фазу устанавливали визуально. За начало фазы принимали день, когда в данную фазу вступало не менее 10-15% растений, за полное наступление фазы – когда она распространялась не менее чем на 75% растений.

Схема закладки опыта в годы исследований содержала варианты без применения удобрений (контроль) и с применением удобрений – аммиачная селитра N_{45} , сульфат аммония N_{45} и мочевины N_{45} .

Аммиачная (аммонийная) селитра (NH_4NO_3) – высококонцентрированное азотное гранулированное удобрение. Получают нейтрализацией азотной кислоты газообразным аммиаком с последующим гранулированием продукта. Содержит азот в двух формах: аммонийный и нитратный (по 17% каждого). Универсальное азотное удобрение, может применяться в качестве предпосевного (основного) удобрения и как подкормка. Особенно эффективно для ранневесенней подкормки зерновых.

Сульфат аммония $(NH_4)_2SO_4$ – кристаллическое азотносерное удобрение, содержит 21% азота в аммонийной форме, не слеживается. В сульфате аммония содержится также до 24% серы, поэтому одновременно он является источником серного питания. Сульфат аммония – одно из широко применяемых в сельском хозяйстве минеральных удобрений. Используется под все сельскохозяйственных культур на черноземах и сероземах. Удобрение обладает ценным качеством – низкой миграционной способностью, так как катион аммония активно поглощается почвой, это предохраняет его от вымывания.

Мочевина (карбамид) $CO(NH_2)_2$ содержит 46 % азота. Это самое концентрированное из азотных удобрений. Выпускают его в гранулированном виде, покрывая гранулы жировой пленкой для уменьшения слеживаемости. Мочевина в почве преобразуется при участии бактерий в углекислый аммоний. Ее используют как основное удобрение и в виде подкормки с незамедлительной заделкой в почву для предотвращения потерь в виде газообразного аммиака.

Метод определения активности фермента нитратредуктазы основан на колориметрическом определении нитритов, которые образуются из нитратов под действием фермента. В фарфоровую ступку помещали 2 г листьев и растирали до однородной массы. Приливали 20 мл фосфатного буферного раствора ($pH=8,0$) и получали ферментный экстракт. Далее отбирали по 2 мл ферментного экстракта, в контрольную пробирку приливали 1 мл 10% раствора уксусной кислоты для инактивации фермента. Затем в обе пробирки (с активным и инактивированным ферментом) приливали по 1 мл 0,1 М раствора нитрата калия и 0,028 М раствора НАД•Н. К фильтрату в каждой пробирке приливали по 1 мл реактива Грисса и содержимое пробирок перемешивали. Через 30 минут окрашенные растворы колориметрировали на фотоэлектроколориметре при длине волны 540 нм.

Химико-аналитические исследования проводились на кафедре «Садоводство, ботаника и физиология растений» Самарского ГАУ [5, 6], выделение белковых фракций проводили по методу Х. Н. Починка (1976), количественное содержание белка определяли колориметрическим методом, описанным Г. А. Кочетовым (1971), определение нитратного азота проводили дисульфифеноловым методом, описанным Б. П. Плешковым (1985), отбор растений для проведения биохимических исследований проводился согласно методу отбора средних проб по А. И. Ермакову (1987).

Математическая обработка данных произведена с использованием пакета компьютерных программ Excel и «Пакет программ по статистике».

Результаты исследований. Азот является необходимым элементом, обеспечивающим рост и развитие растений, входит в состав аминокислот, пуриновых и пиримидиновых оснований. Для растений азот почвы доступен в виде минеральных соединений – в аммонийной и нитратной форме. Содержание азота в почве в слое 0-30 см определялось непосредственно перед посевом озимой пшеницы: величина нитратного азота была равна 11,1 мг/кг, аммонийного – 6,0 мг/кг. Динамика содержания минеральных форм азота в слое 0-30 см почвы в фазах кущение, выход в трубку и колошение при применении различных азотных подкормок, в среднем за годы исследования представлена в таблице 1.

При сравнении содержания минеральных форм азота в почве в варианте без удобрений следует отметить, что нитратного азота в почве оказалось больше, чем аммонийного, на 54%. В результате проведенной подкормки растений пшеницы азотными удобрениями произошло повышение содержания азота почвы: наибольшее количество азота представлено в форме нитратного азота – до 21 мг/кг почвы, а аммиачного – до 11 мг/кг. По фазам развития растений произошло увеличение минеральных форм азота в почве от фазы кущения к фазе колошения.

Представленные результаты также свидетельствуют, что азотные удобрения увеличили содержание минеральных форм азота в почве, по сравнению с контролем, но не в равной мере. Так, наибольшую прибавку нитрата обеспечила аммиачная селитра, до 15,8 мг/кг, в меньшей степени – мочевины, до 14,9 мг/кг, затем сульфат аммония, до 14,6 мг/кг. Увеличение аммонийного азота почвы при подкормке азотными удобрениями в наибольшей степени было в варианте с мочевиной (до 9,0 мг/кг), в меньшей степени – в варианте с сульфатом аммония (до 8,6 мг/кг) и в варианте с аммиачной селитрой (до 8,4 мг/кг).

Таблица 1

Динамика содержания минеральных форм азота в почве (слой 0-30 см), мг/кг, усредненные показатели за период исследования

Подкормка азотными удобрениями	Фаза развития растений	Содержание минеральных форм азота в почве, мг/кг	
		N-NO ₃ ⁻	N-NH ₄ ⁺
Контроль (без удобрений)	кущение	11,0	6,0
	выход в трубку	10,8	6,4
	колошение	12,5	6,3
	среднее по варианту	11,4	6,2
Аммиачная селитра N ₄₅	кущение	12,8	7,6
	выход в трубку	13,6	8,0
	колошение	21,0	9,8
	среднее по варианту	15,8	8,4
Сульфат аммония N ₄₅	кущение	11,8	7,2
	выход в трубку	13,5	8,3
	колошение	18,8	10,3
	среднее по варианту	14,6	8,6
Мочевина N ₄₅	кущение	11,7	7,1
	выход в трубку	13,6	8,9
	колошение	19,3	11,0
	среднее по варианту	14,9	9,0

Следует отметить, что при изучении динамики содержания минеральных форм азота в слое почвы 0-30 см, применение аммиачной селитры дало наибольшее увеличение содержания нитрата (до 15,8 мг/кг), а использование мочевины – аммонийного азота (до 9,0 мг/кг).

Результаты определения активности фермента нитратредуктазы, содержание азота и белка в листьях озимой пшеницы сорта Светоч по фазам развития растений представлено в таблице 2.

Таблица 2

Активность нитратредуктазы, содержание азота и белка в листьях озимой пшеницы в фазах весеннего кущения, выхода в трубку и колошения, в среднем за период исследования

Подкормка азотными удобрениями	Фаза развития растений	Активность нитратредуктазы		Нитрат-анион, мкг/г	Нитрит-анион, мкг/г	Белок, %
		мкг NO ₂ ⁻ /ч на 1 г сырой массы	мкмоль/ч на 1 мг белка			
Контроль (без удобрений)	кущение	61,3±0,14	8,6±0,18	23,2	18,8	3,54
	выход в трубку	68,0±0,17	15,1±0,17	34,5	29,0	5,55
	колошение	54,0±0,18	14,5±0,13	39,6	33,9	5,83
	среднее по варианту	61,1	12,7	32,4	27,2	4,97
Аммиачная селитра, N ₄₅	кущение	78,2±0,12	11,9±0,13	61,2	55,2	4,63
	выход в трубку	87,6±0,11	16,7±0,16	73,6	68,0	6,26
	колошение	71,3±0,18	19,2±0,14	78,6	72,8	7,05
	среднее по варианту	79,0	15,9	71,1	64,8	5,98
Сульфат аммония, N ₄₅	кущение	74,0±0,11	12,1±0,18	59,7	52,8	4,03
	выход в трубку	81,2±0,12	15,6±0,19	72,3	68,2	5,89
	колошение	69,8±0,15	18,9±0,12	76,3	71,1	6,67
	среднее по варианту	75,3	15,5	69,4	64,0	5,53
Мочевина, N ₄₅	кущение	75,6±0,13	11,9±0,11	60,0	54,0	3,97
	выход в трубку	85,1±0,16	16,8±0,14	73,1	67,7	6,06
	колошение	71,6±0,13	19,2±0,17	77,8	72,3	7,07

	среднее по варианту	77,4	15,9	70,3	64,7	5,70
--	---------------------	------	------	------	------	------

Подкормка растений пшеницы азотными удобрениями обеспечила увеличение азота почвы, что в свою очередь вызвало увеличение активности фермента нитратредуктазы, для которого нитратный азот является субстратом [7]. Озимая пшеница обладает достаточно высокой способностью к восстановлению нитратов наземной частью растения, и наибольшей активностью в восстановлении азота обладает флаговый лист [8].

Активность нитратредуктазы листьев озимой пшеницы сорта Светоч, представленная в мкг $\text{NO}_2^-/\text{ч}$ на 1 г сырой массы, увеличивалась от фазы кущения к фазе выхода в трубку, затем понижалась в фазе колошения почти на 26%. Данная зависимость может быть объяснена тем, что к кущению происходит дифференциация растений на органы – лист, стебель, колос, каждый из которых, в той или иной степени, принимает участие в накоплении и перераспределении азота [9]. Тем не менее, органом с наибольшим содержанием азота среди других органов растения, по-прежнему, является листовая аппарат, которой в наибольшей степени обеспечивает редукцию нитратов [10]. Определение активности нитратредуктазы во флаговых листьях озимой пшеницы в фазе колошения показало, что зависимость активности фермента от содержания азота была выше, чем в контрольном варианте, почти на 30%.

Варианты с применением удобрений по показателям содержания белка в листьях растений существенно не отличались между собой.

Таким образом, применение азотных минеральных удобрений, в большей степени аммиачной селитры, оказывает влияние на поддержание нитратвосстанавливающей способности листового аппарата озимой пшеницы в репродуктивный период и может способствовать усилению реутилизации азотистых веществ в зерновке пшеницы.

Заключение. Характер изменения динамики содержания азота в почве и после проведенной подкормки азотными удобрениями, показывает, что в период вегетации растений количество азота вполне достаточно для их произрастания. По мере смены фенологических фаз растений увеличивается содержание азота и белка в листьях озимой пшеницы, и повышается активность фермента нитратредуктазы, катализирующего реакцию восстановления нитрата в нитрит. Величина активности фермента нитратредуктазы в листьях может служить критерием для оценки обеспеченности растений нитратной формой азота. В дальнейшем активность данного фермента можно использовать как показатель оптимизации азотного питания растений, направленного на метаболические процессы. Применение различных азотных минеральных удобрений, и в большей степени аммиачной селитры, повышали обеспеченность растений азотом, который в дальнейшем используется ими при реутилизации азота из листьев в формирующееся семя, что способствует улучшению показателей качества зерна.

Библиографический список

1. Салтыкова, О. Л. Формирование продуктивности яровой пшеницы в зависимости от наступления фенологических фаз развития растений и удобрений // Инновационные технологии в полевом и декоративном растениеводстве : сб. науч. тр. III Всероссийской (национальной) науч.-практ. конф. – с. Лесниково : Курганская ГСХА, 2019. – С. 224-229.
2. Галеева, Е. И. Нитратредуктаза листьев *Triticum aestivum*: регуляция активности и возможная роль в образовании оксида азота / Е. И. Галеева, Т. В. Трифонова, А. А. Пономарева [и др.] // Биохимия. – 2012. – Т. 77, № 4. – С. 512-520.
3. Бакаева, Н. П. Биохимические показатели качества зерна озимой пшеницы на фоне применения минеральных и органических удобрений / Н. П. Бакаева, Н. Ю. Коржавина // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии имени В. Р. Филиппова. – 2019. – №1(54). – С. 13-19.
4. Галочкина, А. А. Активность нитратредуктазы, содержание азота и белка в листьях яровой пшеницы / А. А. Галочкина, Н. П. Бакаева // Современные проблемы агропромышленного комплекса : сб. статей 72 Международной науч.-практ. конф. – Кинель : РИО Самарского ГАУ, 2019. – С. 16-19.
5. Бакаева, Н. П. Влияние ранневесенней подкормки озимой пшеницы различными видами азотных удобрений на использование азота минеральных удобрений, урожайность и углеводно-амилазный комплекс зерна / Н. П. Бакаева, Н. Ю. Коржавина // Агробиохимия. – 2019. – № 9. – С. 47-52. – DOI 10.1134/S0002188119090035.

6. Карлов, Г. И. Адаптация метода определения активности нитратредуктазы для массовых анализов растений / Г. И. Карлов, Д. Ю. Литвинов, П. Н. Харченко // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2019. – Т. 49, № 6. – С. 23-33.

7. Бакаева, Н. П. Коэффициенты использования азота из минеральных удобрений и почвы при возделывании озимой пшеницы // Роль аграрной науки в решении проблем современного земледелия : сб. науч. тр. Всероссийской науч.-практ. конф. – Казань : Изд-во «Бриг», 2017. – С. 21-28.

8. Ниловская, Н. Т. Зависимость ассимиляции нитратов растений пшеницы от уровня азотного питания и условий среды / Н. Т. Ниловская, Т. Л. Курносова // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2015. – №1-2. – С. 10-12.

9. Семенюк, О. В. Влияние жидких органоминеральных удобрений на активность нитратредуктазы у озимой пшеницы в репродуктивный период // Известия Горского государственного аграрного университета. – 2018. – Т. 55, № 4. – С. 48-53.

10. Подшивалова, А. К. Изучение активности кислорода и азота в минеральных азотсодержащих удобрениях // Вестник Иркутской ГСХА. – 2019. – № 91. – С. 32-40.

References

1. Saltykova, O. L. (2019). Formirovaniie produktivnosti iarovoi pshenici v zavisimosti ot nastupleniia fenologicheskikh faz razvitiia rastenii i udobrenii [Formation of spring wheat productivity depending on the onset of phenological phases of crop production and fertilizers]. Innovative technologies in field and decorative crop production '19: *sbornik nauchnikh trudov III Vserossiiskoi (nacionalinoi) nauchno-prakticheskoi konferencii – collection of proceedings of the III All-Russian (national) scientific-practical conference*. (pp. 224-229). Lesnikovo: Kurgan State Agricultural Academy [in Russian].

2. Galeeva, E. I., Trifonova, T. V., Ponomareva, A. A., Viktorova, L. V., & Minibayeva, F. V. (2012). Nitrat reduktaza listiev *Triticumaestivum*: reguliatsiia aktivnosti i vozmozhnaia rol v obrazovanii oksida azota [Nitrate reductase of leaves of *Triticumaestivum*: regulation of activity and possible role in the formation of nitrogen oxide]. *Biohimiia – Biochemistry*, 77, 4, 512-520 [in Russian].

3. Bakayeva, N. P., & Korzhavina, N. Yu. (2019). Biohimicheskie pokazateli kachestva zerna ozimoi pshenici na fone primeneniia mineralnikh i organicheskikh udobrenii [Biochemical indicators of quality of winter wheat grains against the background of mineral and organic fertilizers application]. *Vestnik Buriatskoi gosudarstvennoi seliskokhoziaistvennoi akademii im. V. R. Filippova – Bulletin Buryat State Academy of Agriculture named after V.R. Philippov*, 1(54), 13-19 [in Russian].

4. Galochkina, A. A., & Bakaeva, N. P. (2019). Aktivnost nitrata reduktazy, sodержaniie azota i belka v listiakh iarovoi pshenici [Activity of nitrate reductase, nitrogen and protein content in spring wheat leaves]. Modern problems of the agro-industrial complex '19: *sbornik statei 72 Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferencii – collected papers 72 of the International scientific-practical conference*. (pp. 16-19). Kinel: PC Samara SAU [in Russian].

5. Bakayeva, N. P., & Korzhavina, N. Yu. (2019). Vliianiie ranne vesennei podkormki ozimoi pshenici razlichnimi vidami azotnikh udobrenii na ispolizovanie azota-mineralnikh udobrenii, urozhajnosti uglevodno-amilaznii kompleks zerna [Influence of early winter wheat fertilizing of various types of nitrogen fertilizers on the use of nitrogen fertilizers, productivity and carbohydrate-amylase complex of grains]. *Agrohimiya – Agrochemistry*, 9, 47-52 [in Russian].

6. Karlov, G. I., Litvinov, D. Yu., & Kharchenko, P. N. (2019). Adaptatsiia metoda opredeleniia aktivnosti nitrata-reduktazy dlia massovikh analizov rastenii [Method of adaptation to the determination of nitrate reductase activity for mass analysis of solutions]. *Sibirskii vestnik seliskokhoziaistvennoi nauki – Siberian Herald of Agricultural Science*, 49, 6, 23-33 [in Russian].

7. Bakaeva, N. P. (2017). Koeffitsienti ispolizovaniia azota iz mineralnikh udobrenii i pochvi pri vozdelivanii ozimoi pshenici [Coefficients of nitrogen use from mineral fertilizers and soil when growing winter wheat]. Role of agricultural science in solving the problem of modern agriculture '17: *sbornik nauchnikh trudov Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferencii – collection of scientific papers of the All-Russian scientific and practical conference* (pp. 21-28). Kazan': Brig Publishing House [in Russian].

8. Nilovskaya N. T., & Kursova T. L. (2015). Zavisimost assimiliatsii nitrata rastenii pshenici ot urovnia azotnogo pitaniia i uslovii sredy [Dependence of nitrate assimilation on nitrogen level and nutrition conditions].

Doklady Rossiiskoi akademii seliskokhoziaistvennikh nauk – Reports of the Russian Academy of Agricultural Sciences, 1-2, 10-12 [in Russian].

9. Semenyuk, O. V. (2018). Vliianie zhidkikh organo-mineralnikh-udobrenii na aktivnost nitrata-reduktazy u ozimoi pshenicy v reprodutivnii period [Influence of liquid organomineral fertilizers on the activity of NIT-reductase in winter wheat during the reproductive period]. *Izvestiia Gorskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta – Proceedings of Gorsky State Agrarian University*, 55, 4, 48-53 [in Russian].

10. Podshivalova, A. K. (2019). Izuchenie aktivnosti kisloroda I azota v mineralinikh azot-soderzhashchikh udobreniiakh [Studying the activity of oxygen and nitrogen in mineral nitrogen-containing fertilizers]. *Vestnik Irkutskoi gosudarstvennoi seliskohoziaistvennoi akademii – Vestnik Ir.GSHA*, 91, 32-40 [in Russian].