

Режим нитратного азота в черноземе при возделывании многолетних трав

Наталья Леонидовна Кураченко¹, Валентина Леонидовна Бопп²

¹ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет», г. Красноярск, Россия

²Красноярский НИИ сельского хозяйства, ФИЦ КНЦ СО РАН, г. Красноярск, Россия

e-mail: kurachenko@mail.ru

Аннотация. В статье представлены результаты полевых опытов по изучению динамики нитратного азота в черноземе обыкновенного лесостепной зоны Красноярского края. Исследования проведены в 2017–2019 гг. в трехпольных зернопаровом и 8 зернотравяных севооборотах. Донник и эспарцет возделывались в чистом виде и под покровом ячменя, в т.ч. с обработкой семян инокулянтом ризоторфином. Озимую рожь высевали в 2018 г. в поле чистого пара в зернопаровом севообороте и после скашивания второго укоса многолетних трав 2-го года пользования в зернотравяных севооборотах стерневой сечкой СЗС-2,1 без предварительной обработки почвы. Установлено, что высокая обеспеченность нитратным азотом характерна для парового поля в слое чернозема 0–20 см (19 мг/кг). Среднюю обеспеченность чернозема нитратным азотом формировали беспокровные посева донника и эспарцета и покровные посева донника (9–10 мг/кг). В посевах озимой ржи по различным предшественникам отмечены интенсивное потребление минерального азота растениями и очень низкая обеспеченность почвы нитратным азотом (2–5 мг/кг). Зернотравяной севооборот с возделыванием озимой ржи по бинарным и чистым посевам донника создавал лучшие условия для накопления нитратного азота в слое чернозема 0–40 см (6–8 мг/г). Обработка семян донника и эспарцета ризоторфином определяла более интенсивное поглощение нитратного азота из почвы и низкую обеспеченность нитратным азотом почвы (4–5 мг/кг) в севообороте.

Ключевые слова: чернозем; донник; эспарцет; чистый пар; ризоторфин; бинарные посева; нитратный азот.

Для цитирования: Кураченко Н. Л., Бопп В. Л. Режим нитратного азота в черноземе при возделывании многолетних трав // Аграрный научный журнал. 2022. № 9. С. 29–33. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2022i9pp29-33>.

AGRONOMY

Original article

Regime of nitrate nitrogen in chernozem during the cultivation of perennial grasses

Natalia L. Kurachenko¹, Valentina L. Bopp²

¹FSBEI HE "Krasnoyarsk State Agrarian University", Krasnoyarsk, Russia

²Krasnoyarsk Research Institute of Agriculture, FRC KSC SB RAS, Krasnoyarsk, Russia

kurachenko@mail.ru

Abstract. The article presents the results of field experiments to study the dynamics of nitrate nitrogen in ordinary chernozem of the forest-steppe zone of the Krasnoyarsk Territory. The studies were carried out in 2017–2019 years in three-field grain-steam and 8 grain-grass crop rotations. Melilot and sainfoin were cultivated neat and under the cover of barley, incl. with seed treatment with Rizotorfin inoculant. Winter rye was sown in 2018 in a field of clean fallow in a grain-fallow crop rotation and after mowing the second cut of perennial grasses of the 2nd year of use in grain-grass crop rotations with a stubble seeder SZS-2.1 without preliminary tillage. It has been established that a high supply of nitrate nitrogen is characteristic of a steam field in a 0–20 cm layer of chernozem (19 mg/kg). The average supply of chernozem with nitrate nitrogen was formed by coverless crops of sweet clover and sainfoin and cover crops of sweet clover (9–10 mg/kg). In the crops of winter rye, according to various predecessors, an intensive consumption of mineral nitrogen by plants and a very low supply of soil with nitrate nitrogen (2–5 mg/kg) were noted. Grain-grass crop rotation with the cultivation of winter rye on binary and pure crops of sweet clover created the best conditions for the accumulation of nitrate nitrogen in the 0–40 cm layer of chernozem (6–8 mg/kg). The treatment of sweet clover and sainfoin seeds with the inoculant Rizotorfin determined a more intensive absorption of nitrate nitrogen from the soil and a low supply of nitrate nitrogen to the soil (4–6 mg/kg) in the crop rotation.

Keywords: chernozem; sweet clover; sainfoin, pure fallow; rhizotorfin, binary crops; nitrate nitrogen.

For citation: Kurachenko N. L., Bopp V. L. Regime of nitrate nitrogen in chernozem during the cultivation of perennial grasses. Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal. 2022;(9): 29–33. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2022i9pp29-33>.

Введение. Биологизация, являясь важнейшим направлением современных систем земледелия, рассматривается как преимущественное привлечение биогенных факторов интенсификации [1, 4, 7]. Использование биологических факторов интенсификации сельскохозяйственного производства основано на увеличении поступления в почву растительных остатков сельскохозяйственных культур, использовании сидератов и уплотненных посевов (промежуточных культур), многолетних трав и зернобобовых культур, активизации процессов симбиотической азотфиксации, рациональном чередовании культур в севооборотах, применении оптимальных способов обработки почвы [8, 9, 10, 11, 12].

По мнению А.В. Дедова и др. [5], насыщение севооборотов средоулучшающими культурами обеспечивает накопление в почве органического вещества и азота, определяет мобилизацию доступных форм фосфора и калия. Бобовые культуры, возделываемые совместно со злаковыми, могут быть важным источником поступления в почву азота за счет оптимизации соотношения углерода и азота в растительных остатках. Применение совместных посевов культур в различных типах и видах севооборотов создает благоприятные условия для лучшего использования природных ресурсов [2, 13]. В связи с этим при разработке адаптивных технологий требуется поиск новых научных решений, которые должны базироваться на более полном вовлечении в средо- и почвообразовательный процесс агроэкосистем доступных возобновляемых ресурсов.



Цель исследований – оценить влияние многолетних трав, возделываемых в чистых и бинарных посевах, на содержание и динамику нитратного азота в черноземе обыкновенном Красноярской лесостепи.

Методика исследований. Исследования проводили в 2017–2019 гг. в полевом опыте в лесостепной зоне Красноярского края. Почвенный покров опытного участка представлен черноземом обыкновенным маломощным средне-суглинистого гранулометрического состава, характеризующимся в слое 0–20 см высоким содержанием гумуса (7,9–9,6 %), высокой суммой обменных оснований (40,0–45,2 мг-экв/100 г) и слабощелочной реакцией среды ($pH_{н2о}$ – 7,1–7,8). В пахотном слое чернозема обыкновенного содержалось по Чирикову 179,7 мг P_2O_5 /кг и 118,3 мг K_2O /кг.

Объектами исследований явились сельскохозяйственные культуры зернопарового и зернотравяных трехпольных севооборотов, возделываемые по следующей схеме:

- 1) ячмень – пар + озимая рожь – озимая рожь;
- 2) ячмень + донник – донник (п/п) + озимая рожь – озимая рожь;
- 3) ячмень + донник + ризоторфин – донник (п/п) + ризоторфин + озимая рожь – озимая рожь;
- 4) ячмень + эспарцет – эспарцет (п/п) + озимая рожь – озимая рожь;
- 5) ячмень + эспарцет + ризоторфин – эспарцет (п/п) + ризоторфин + озимая рожь – озимая рожь;
- 6) донник – донник + озимая рожь – озимая рожь;
- 7) донник + ризоторфин – донник + ризоторфин + озимая рожь – озимая рожь;
- 8) эспарцет – эспарцет + озимая рожь – озимая рожь;
- 9) эспарцет + ризоторфин – эспарцет + ризоторфин + озимая рожь – озимая рожь.

В полевом опыте возделывали ячмень сорта Соболек, донник желтый КАТЭК, озимую рожь Красноярскую универсальную. Технология возделывания сельскохозяйственных культур соответствовала зональной системе земледелия [14]. Удобрения при возделывании сельскохозяйственных культур не применялись. Биологическое удобрение ризоторфин, содержащее клубеньковые бактерии *Rhizobium sp.*, применяли в качестве обработки семян перед посевом. Озимую рожь высевали в поле чистого пара в зернопаровом севообороте и после скашивания второго укоса многолетних трав в зернотравяных севооборотах стерневой сеялкой СЗС-2,1 22 августа без предварительной обработки почвы. Размещение вариантов опыта систематическое, повторность опыта 4-кратная. Общая площадь делянки 150 м², учетная – 60 м².

Отбор почвенных образцов на содержание нитратного азота проводили в слоях почвы 0–20 и 20–40 см. Срок отбора образцов в 2017 г. – первая декада сентября; в 2018 г. – с июня по сентябрь; в 2019 г. – с мая по август. Нитратный азот определяли в смешанных образцах, состоящих из 10 индивидуальных проб (ГОСТ 26951-86). Массовую долю азота нитратов в миллионных долях в почве устанавливали по величине pC_{NO_3} с помощью таблицы.

Благоприятные погодные условия для возделывания сельскохозяйственных культур складывались в 2017 и 2019 гг. Вегетационные сезоны были теплыми и влагообеспеченными с неравномерным увлажнением по месяцам. В 2018 г. погодные условия характеризовались как теплые и острозасушливые. В июле и августе выпало всего 15–21 мм осадков, что ниже среднемноголетних значений на 78–66 %.

Полученные результаты обрабатывали методами дисперсионного анализа и описательной статистики [6].

Результаты исследований. При создании смешанных посевов не ставится задача получения продукта в чистом виде, как в случае с продовольственными культурами. Напротив, смешанный посев имеет преимущество в кормовом отношении и при определенном насыщении его и включении в технологический процесс факторов, регулирующих рост и развитие компонентов, он может выступать как автоматическая саморегулирующаяся продукционная система с программируемым поступлением сырья по времени и качеству. Устойчивость и продуктивность агроценозов зависят от обеспеченности растений элементами питания, обусловленной активностью почвенных микроорганизмов в пределах агроландшафта.

Наиболее лабильным почвенным азотом является нитратная форма. В почвах автоморфного ряда эта форма является основным источником доступного для растений азота. Интенсивность мобилизационных процессов, при которых накапливается в почве нитратный азот, зависит от целого ряда факторов. Определяющими среди них являются запас гидролизуемых соединений органического азота в почве, гидротермические условия и агротехнические приемы возделывания сельскохозяйственных культур. Нитрификация является показателем культурного состояния почвы, а нитрификационная способность почвы – важным признаком ее плодородия.

Функционирование агроценоза ячменя и полей севооборотов с многолетними травами первого года жизни сопровождалось различной величиной накопления нитратного азота в черноземе обыкновенном (табл. 1). В послеуборочный период его содержание в слое почвы агроценоза ячменя и в бинарных посевах с донником 0–40 см соответствовало средней обеспеченности (8–12 мг/кг). Возделывание многолетних трав в одновидовых посевах и эспарцета в бинарных посевах с ячменем снижало концентрацию нитратного азота в почвенном растворе до низкой и очень низкой обеспеченности (2–6 мг/кг). Инокуляция семян многолетних трав ризоторфином, содержащим клубеньковые бактерии, способствовала снижению концентрации нитратного азота в слое почвы 0–20 см в 0,4–2 раза.

Режимные наблюдения за динамикой подвижных элементов питания в паровом поле, полях многолетних трав второго года жизни и озимой ржи показали широкий размах изменчивости нитратного азота (табл. 2). В пахотном слое 0–20 см сезонная вариабельность нитратного азота по вариантам опыта оценивалась от небольших до очень высоких величин ($Cv = 11–68\%$). В подпахотном слое – от незначительных до очень высоких ($Cv = 7–100\%$).

Благоприятные условия для нитрификационного процесса и накопления нитратного азота создаются в паровом поле. В вегетационный сезон 2018 г. количество нитратного азота за период парования в среднем составило 19 мг/кг, что соответствует высокой обеспеченности. В подпахотном слое почвы 20–40 см содержание нитратного азота оценивалось повышенной величиной (15 мг/кг). По мнению Г.П. Гамзикова [3], повышенное содержание $N-NO_3$ в нижних слоях почвы после зерновых культур имеет место лишь в отдельные годы. Оно обусловлено значительной миграцией



Содержание нитратного азота в черноземе обыкновенном в посевах ячменя и многолетних трав первого года жизни, мг/кг (сентябрь 2017г.)

Поле севооборота	0–20 см	20–40 см
Ячмень	10,6	9,8
Ячмень + донник	11,7	10,5
Ячмень + донник + ризоторфин	8,2	9,0
Ячмень + эспарцет	4,9	5,2
Ячмень + эспарцет + ризоторфин	3,2	4,5
Донник	5,2	6,0
Донник + ризоторфин	2,3	3,6
Эспарцет	5,7	6,4
Эспарцет + ризоторфин	2,7	4,3

Таблица 2

Статистические параметры содержания нитратного азота в черноземе обыкновенном, мг/кг (2018 г., n = 4)

Поле севооборота	0–20 см		20–40 см	
	Хср	Сv,%	Хср	Сv,%
Пар + озимая рожь	18,8	56	15,4	27
Донник (п/п) + озимая рожь	9,9	41	9,4	23
Донник (п/п) + ризоторфин	7,0	24	5,2	46
Эспарцет (п/п) + озимая рожь	4,5	38	3,6	3
Эспарцет (п/п) + ризоторфин	4,7	19	5,6	46
Донник + озимая рожь	8,8	49	11,0	100
Донник + ризоторфин + озимая рожь	6,4	47	6,6	53
Эспарцет + озимая рожь	9,4	55	6,2	37
Эспарцет + ризоторфин + озимая рожь	6,0	47	6,4	56

нитратного азота в почвенном профиле во влажные годы. Преимущество парового поля в накоплении нитратного азота достоверно проявлялось в июньский и июльский периоды, характеризующиеся максимальным содержанием этой формы азота в слое чернозема 0–40 см ($HCP_{05} = 6,3-3,8$).

Среднюю обеспеченность нитратным азотом в слое чернозема 0–20 см формировали беспокровные и покровные посева донника и беспокровные посева эспарцета 2-го года пользования (9–10 мг/кг). Существенное пополнение почвы нитратным азотом отмечалось в августовский период после скашивания второго укоса многолетних трав и посева семян озимой ржи. Под культурой эспарцета, возделываемого под покровом ячменя, а также с применением микробиологического препарата ризоторфина, отмечалось обеднение запаса нитратного азота до низкой обеспеченности (4–5 мг/кг).

На вариантах опыта с ризоторфином слабощелочная рН почвы регулировала поглощение нитратного азота растениями, непосредственно воздействуя на транспорт ионов в клетки корня, а также контролировала микробиологические процессы, определяющие содержание NO_3^- в почве. Функционирование посевов озимой ржи по паровому предшественнику и многолетним травам сопровождалось интенсивным потреблением минерального азота. Разложение корневых остатков донника и эспарцета и миграция $N-NO_3$ после парового предшественника обусловили увеличение содержания этой формы азота в подпахотном слое (табл. 3).

Таблица 3

Статистические параметры содержания нитратного азота в черноземе обыкновенном в посевах озимой ржи, мг/кг (2019 г., n = 4)

Предшественник	0–20 см		20–40 см	
	Хср	Сv,%	Хср	Сv,%
Пар + озимая рожь	3,9	19	5,3	15
Донник (п/п) + озимая рожь	3,9	54	4,3	12
Донник (п/п) + ризоторфин	4,9	35	8,4	73
Эспарцет (п/п) + озимая рожь	4,8	21	4,8	40
Эспарцет (п/п) + ризоторфин	3,9	26	9,2	76
Донник + озимая рожь	3,8	18	5,4	39
Донник + ризоторфин + озимая рожь	3,3	12	4,9	39
Эспарцет + озимая рожь	3,7	11	3,4	56
Эспарцет + ризоторфин + озимая рожь	2,2	68	4,5	7





В наибольшей степени эта закономерность проявилась в почве агроценоза озимой ржи, возделываемой по покровным посевам донника с ризоторфином и беспокровным посевам донника и эспарцета с ризоторфином. Превышение в 1,5–2 раза содержания нитратного азота ($HCp_{05} = 2,6$) на этих вариантах опыта отмечено в подпахотном слое, что обусловлено поступлением в почву легкоминерализуемого органического вещества. Слабая нитрификационная способность почв слоя 20–40 см является следствием не только неблагоприятных гидротермических условий, но и недостаточности в нем энергетического материала для процесса нитрификации.

Интенсивный вынос нитратного азота озимой рожью отмечался в июне. В период колошения – созревания культуры некоторое увеличение содержания нитратного азота обусловлено текущей нитрификацией. Потребление растениями минерального азота растениями и его вынос с урожаем определили очень низкую обеспеченность почвы нитратным азотом (2–5 мг/кг).

Оценка среднего содержания нитратного азота в почве показала, что лучшие условия для нитратонакопления складываются в зернопаровом севообороте со средним уровнем обеспеченности чернозема $N-NO_3$ (10–11 мг/кг), см. рисунок.

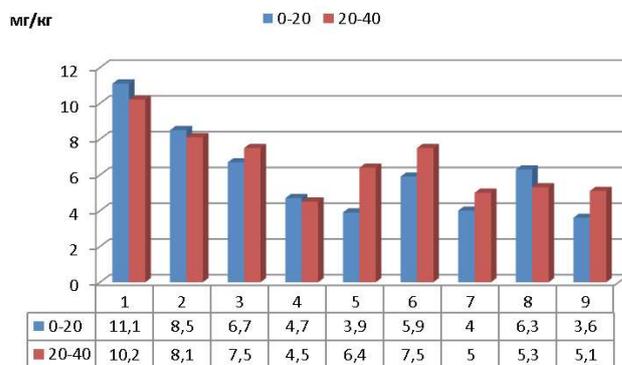
В севооборотах с многолетними травами он оставался низким (<8 мг/кг). Нитратный азот, ранее накопленный и вновь образующийся, интенсивно потреблялся культурами севооборота. Оптимальные условия для накопления нитратного азота за счет текущей нитрификации и пополнения почвы органическим веществом складывались в зерно-травяных севооборотах с бинарными и одновидовыми посевами донника (6–9 мг/кг). Беспокровные посева донника определяли средний уровень обеспеченности севооборота нитратным азотом в слое чернозема 20–40 см (8 мг/кг).

Заключение. Режимные наблюдения за динамикой нитратного азота в черноземе обыкновенном зернопарового и зерно-травяных севооборотов выявили различный уровень обеспеченности элементом питания при широком размахе сезонной изменчивости ($Cv = 7–100\%$). Высокая обеспеченность чернозема нитратным азотом (19 мг/кг) за счет процессов минерализации органического вещества формировалась в паровом поле зернопарового севооборота.

При возделывании донника и эспарцета в чистых посевах и донника под покровом ячменя в лесостепной зоне Красноярского края создавались условия для пополнения слоя чернозема 0–20 см нитратным азотом до средней обеспеченности элементом питания в поле севооборота (9–10 мг/кг). Установлено, что обработка семян донника и эспарцета инокулянтном ризоторфином определяла более интенсивное поглощение нитратного азота из почвы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борисова Е. Е. Роль клевера лугового в экологизации и биологизации земледелия // Символ науки: международный научный журнал. 2016. № 4-4 (16). С. 56–61.
2. Васюткина А. С., Филоненко В. А. Биологизация земледелия и улучшение экологического состояния сельскохозяйственных угодий // Защита и карантин растений. 2013. № 9. С. 15–18.
3. Гамзиков Г. П. Агрохимия азота в агроценозах. Новосибирск, 2013. 790 с.
4. Семенная продуктивность люцерны изменчивой при различных способах выращивания / В. А. Гушина [и др.] // Аграрный научный журнал. 2021. № 9. С. 23–26.
5. Дедов А. В., Несмеянова М. А., Кузнецова Т. А. Бинарные посева с бобовыми травами // Пермский аграрный вестник. 2014. № 2. С. 10–16.
6. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Альянс, 2014. 315 с.
7. Дудкин И. В., Дудкина Т. А. Биоэнергетическая оценка факторов земледелия // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2017. № 2. С. 6–10.
8. Оценка эффективности факторов биологизации в земледелии Уральского региона / Н. Н. Зезин [и др.] // Пермский аграрный вестник. 2019. № 1. С. 34–41.
9. Освоение технологии прямого посева на черноземах России / А. Л. Иванов [и др.] // Сельскохозяйственный журнал. 2021. № 2. С. 18–36.
10. Козырева М. Ю. Динамика площади листьев люцерны (*Medicago varia* Mart.) в зависимости от типа азотного питания // Аграрный научный журнал. 2020. № 10. С. 33–37.
11. Кураченко Н. Л., Колесник А. А. Структура и запасы гумусовых веществ агроценоза в условиях основной обработки почвы // Вестник КрасГАУ. 2017. № 9. С. 149–157.
12. Рудковский Е. Д., Пальчиков Е. В., Новикова Д. А. Сидераты как биологическое удобрение в биологизации земледелия // Наука и образование. 2020. № 4. С. 164.
13. Саранин Е. К. Биологизация земледелия. Теория и практика. М.: АОЗТ «ИКАР», 1996. 130 с.
14. Система земледелия Красноярского края на ландшафтной основе. Красноярск, 2015. 591 с.



Среднестатистическое содержание нитратного азота в черноземе обыкновенном полей севооборотов (2017–2019гг.):

- 1) ячмень – пар + озимая рожь – озимая рожь;
- 2) ячмень + донник – донник (n/n) + озимая рожь – озимая рожь;
- 3) ячмень + донник + ризоторфин – донник (n/n) + ризоторфин + озимая рожь – озимая рожь;
- 4) ячмень + эспарцет – эспарцет (n/n) + озимая рожь – озимая рожь;
- 5) ячмень + эспарцет + ризоторфин – эспарцет (n/n) + ризоторфин + озимая рожь – озимая рожь;
- 6) донник – донник + озимая рожь – озимая рожь;
- 7) донник + ризоторфин – донник + ризоторфин + озимая рожь – озимая рожь;
- 8) эспарцет – эспарцет + озимая рожь – озимая рожь;
- 9) эспарцет + ризоторфин – эспарцет + ризоторфин + озимая рожь – озимая рожь

REFERENCES

1. Borisova E. E. The role of meadow clover in the greening and biologization of agriculture. *Symbol of Science: international scientific journal*. 2016;4-4(16):56–61. (In Russ.).
2. Vasyutina A. S., Filonenko V. A. Biologization of agriculture and improvement of the ecological state of agricultural land. *Plant protection and quarantine*. 2013;(9):15–18. (In Russ.).
3. Gamzikov G. P. Agrochemistry of nitrogen in agrocenoses. Novosibirsk; 2013. 790 p. (In Russ.).
4. Seed productivity of alfalfa variable with different cultivation methods / V. A. Gushchina et al. *Agrarian scientific journal*. 2021;(9):23–26. (In Russ.).
5. Dedov A. V., Nesmeyanova M. A., Kuznetsova T. A. Binary crops with legumes. *Perm Agrarian Bulletin*. 2014;(2):10–16. (In Russ.).
6. Dospekhov B. A. Field experiment technique (with the basics of statistical processing of research results). M.: Alliance; 2014. 315 p. (In Russ.).
7. Dudkin I. V., Dudkina T. A. Bioenergetic assessment of agricultural factors. *Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy*. 2017;(2):6–10. (In Russ.).
8. Evaluation of the effectiveness of biologization factors in agriculture of the Ural region / N. N. Zezin et al. *Perm Agrarian Bulletin*. 2019;1:34–41. (In Russ.).
9. Mastering the technology of direct sowing on the chernozems of Russia / A. L. Ivanov et al. *Agricultural journal*. 2021;2:18–36. (In Russ.).
10. Kozyreva M.Yu. Dynamics of the leaf area of alfalfa (*Medicago varia* Mart.) Depending on the type of nitrogen nutrition. *Agrarian scientific journal*. 2020;10:33–37. (In Russ.).
11. Kurachenko N. L., Kolesnik A. A. The structure and reserves of humic substances in agrochernozem under conditions of basic soil cultivation. *Bulletin of KrasGAU*. 2017;9:149–157. (In Russ.).
12. Rudkovsky E. D., Palchikov E. V., Novikova D. A. Siderata as a biological fertilizer in the biologization of agriculture. *Science and Education*. 2020;4:164. (In Russ.).
13. Saranin E. K. Biologization of agriculture. Theory and practice. M.: AOZT “IKAR”; 1996. 130 p. (In Russ.).
14. The farming system of the Krasnoyarsk Territory on a landscape basis. Krasnoyarsk; 2015. 591 p. (In Russ.).

Статья поступила в редакцию 07.12.2021; одобрена после рецензирования 18.07.2022; принята к публикации 21.07.2022.

The article was submitted 07.12.2021; approved after reviewing 18.07.2022; accepted for publication 21.07.2022.

