

Д.В. Сыщиков, И.В. Агурова, А.С. Березовский

АГРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ НИТРАТНОЙ И НИТРИТНОЙ ФОРМ АЗОТА В ЗЕМЛЯХ СЕЛЬХОЗУГОДИЙ ДОНБАССА

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Донецкий ботанический сад»*

В статье приведены результаты исследований по содержанию нитратной и нитритной форм азота в почвах сельхозназначения Донецкой Народной Республики, которые позволили выявить закономерности распределения азота по профилю почв. Наименьшее количество как нитритного, так и нитратного азота зафиксировано под зерновыми культурами, что свидетельствует о несоблюдении мероприятий землепользования, наибольшее – на участках под овощными культурами, с соблюдением стандартной региональной агротехники выращивания сельскохозяйственных культур и использованием необходимых доз минеральных удобрений. Установлена тесная корреляционная связь между различными видами кислотности и содержанием обеих форм азота.

Ключевые слова: нитратный азот, нитритный азот, деградация, земли сельскохозяйственного назначения, плодородие

Цитирование: Сыщиков Д.В., Агурова И.В., Березовский А.С. Агроэкологическая оценка содержания нитратной и нитритной форм азота в землях сельхозугодий Донбасса // Промышленная ботаника. 2025. Вып. 25, № 2. С. 56–63. DOI: 10.5281/zenodo.15771731

Введение

В связи с возрастающим негативным антропогенным воздействием на почвенный покров, связанным с нерациональным применением удобрений и использованием сельскохозяйственных земель, актуальными в современном земледелии являются вопросы сохранения плодородия почв, а также экологической безопасности сельскохозяйственного производства. Длительное использование черноземов без соответствующих мер может приводить к отрицательным изменениям, которые вызывают развитие деградационных процессов и снижение плодородия [2, 5, 18].

Учет показателей, характеризующих уровень плодородия почв, – обязательная составляющая часть комплексного мониторинга земель сельскохозяйственного назначения. Различное агрономическое использование почв меняет их свойства, характер почвообразования и агроэкологические функции [4, 7], поэтому требует постоянного наблюдения и контроля.

Азот является жизненно необходимым элементом минерального питания растений, обеспечивающим получение высокой урожайности зерновых и овощных культур. Кроме того, важна роль соединений азота в функционировании естественных и антропогенных экосистем, характеризующих потенциальное плодородие почв [1, 3, 15, 21]. К азотным соединениям, непосредственно усваиваемым и доступным для растений, относят минеральные его формы – нитратную и аммонийную [9]. Показано, что об обеспеченности растений доступным азотом черноземных почв следует судить по содержанию его нитратной формы [8]. Наряду с этим, агроэкологическая оценка почв только лишь по содержанию аммонийного азота в ряде случаев малоинформативна, поскольку с одной стороны он, вовлекаясь в обменные процессы с почвенным поглощающим комплексом, слабо мобилен в почве, а с другой – быстро нитрифицируется до конечного продукта – нитратов [13].

В проведенных нами исследованиях было показано, что на снижение различных форм азота оказывает влияние ряд факторов, включая несоблюдение условий севооборота, положение участков по элементам рельефа, длительность возделывания зерновых культур на одних и тех же участках [16, 17].

Изучение содержания минерального азота почв сельхозугодий является составляющей комплексного мониторинга земель, находящихся под влиянием тех или иных процессов деградации (физической, химической, биологической).

Цель исследований

Целью данных исследований было изучение содержания минеральных форм азота почв сельскохозяйственных угодий Шахтерского района Донецкой Народной Республики (далее – ДНР) как одного из деградированных и напряженных в экологическом плане района. В задачи исследований входило изучение содержания нитратного и нитритного азота в почвах сельхозугодий ДНР, а также выявление корреляционной связи между формами азота и различными видами кислотности почв.

Объекты и методики исследований

Исследования проводили на модельных участках в восточной и западной частях Шахтерского района ДНР, где закладывали почвенные разрезы (рис. 1).

Участок № 1. Участок со степной растительностью (с. Андреевка, N 48°12'39.80", E 38°70'76.19"). Чернозем обыкновенный среднегумусный. Данный участок рассматривается как условный контроль.

Участок № 2. Склоновый участок поля под озимой пшеницей второй год монокультуры (с. Дмитровка, N 47°94'47.28", E 38°90'75.75"). Чернозем обыкновенный среднесмытый малогумусный.

Участок № 3. Склоновый участок поля под озимой пшеницей, второй год монокультуры (с. Дмитровка, N 47°55'58.7", E 38°53'55.3"). Чернозем обыкновенный слабосмытый малогумусный.

Участок № 4. Склоновый участок поля под кукурузой после пшеницы (с. Степановка, N 47°55'29.6", E 38°46'36.6"). Чернозем обыкновенный слабосмытый малогумусный.

Участок № 5. Склоновый участок поля под паром, первый год после картофеля

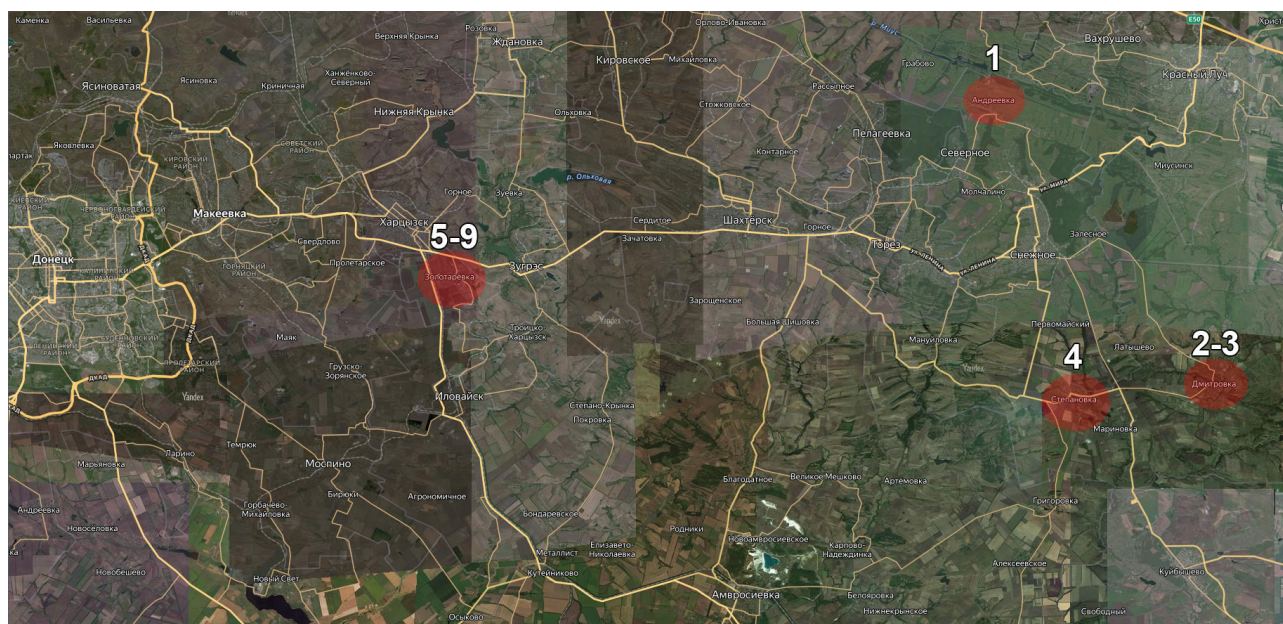


Рис. 1. Расположение модельных участков (расшифровка всех участков представлена ниже)

Fig. 1. Location of model sites (a decoding of all sites is presented below)

(с. Пятиполье, N 48°00'51.1", E 38°06'58.1"). Чернозем обыкновенный малогумусный.

Участок № 6. Склоновый участок поля под паром, первый год после лука (с. Пятиполье, N 48°00'54.6", E 38°07'33.9"). Чернозем обыкновенный малогумусный.

Участок № 7. Склоновый участок поля под томатами (с. Пятиполье, N 48°00'53.5", E 38°07'57.4"). Чернозем обыкновенный среднегумусный.

Участок № 8. Склоновый участок поля под луком (с. Пятиполье, N 48°01'03.6", E 38°07'19.6"). Чернозем обыкновенный среднегумусный.

Участок № 9. Склоновый участок поля под баклажанами (с. Пятиполье, N 48°01'04.3", E 38°07'56.8"). Чернозем обыкновенный малогумусный.

Описание почвенных разрезов проводили согласно общепринятым методикам [10, 11]. Отбор почвенных образцов проводили по почвенным горизонтам в 2024 г. в период активного формирования вегетативной массы (июнь) и после уборки урожая (сентябрь) [14].

Содержание нитритного азота определяли по взаимодействию с альфа-нафтиламином и сульфаниловой кислотой [12]. Содержание ни-

тратного азота – по методу Грандваль-Ляжу [12]. Статистическую обработку экспериментальных данных проводили по общепринятым методам параметрической статистики на 95 % уровне значимости по Доспехову [6]. Все почвенные анализы проводили в 3-х-кратной повторности.

Результаты исследований и их обсуждение

В 2024 г. при изучении содержания азота нитритных соединений в период активного формирования вегетативной массы отмечено, что в почвах модельных участков под зерновыми культурами (№ 2–4) его концентрация была значительно ниже контрольных показателей на контрольном участке (в 1,7–2,6 раз). Полученные данные, вероятнее всего, объясняются как недостаточностью пула общего азота, так и активным окислением нитритов до нитратов вследствие усиления аэрации почвы при возделывании пропашных культур. В отличие от этого, участки под овощными культурами и паром (№ 5–9) характеризуются повышенным уровнем накопления данной формы минерального азота, превышающей значения зональной почвы в 2,8–4 раза (табл. 1). Отмеченная тенденция была характерна как для пахотного, так и для нижележащего горизонтов.

Таблица 1. Содержание нитритного азота (мг N-NO₂⁻/100 г почвы) в почвах сельскохозяйственных угодий

Участок/ горизонт	Период активного формирования вегетативной массы			После уборки урожая		
	M ± m	% к контролю	Tst	M ± m	% к контролю	Tst
№ 1 A	0,18 ± 0,004	—	—	0,15 ± 0,003	—	—
№ 1 B	0,1 ± 0,003	—	—	0,1 ± 0,002	—	—
№ 2 A	0,07 ± 0,001*	41,4	25,4	0,07 ± 0,004*	44,7	16,7
№ 2 B	0,05 ± 0,003*	48,0	12,0	0,05 ± 0,006*	55,1	6,98
№ 3 A	0,09 ± 0,003*	50,8	18,0	0,07 ± 0,001*	49,5	23,6
№ 3 B	0,06 ± 0,001*	56,9	11,9	0,05 ± 0,002*	48,6	19,5
№ 4 A	0,08 ± 0,001*	43,7	25,4	0,07 ± 0,003*	48,0	17,3
№ 4 B	0,06 ± 0,002*	58,5	11,2	0,04 ± 0,002*	44,8	19,6
№ 5 A	0,55 ± 0,014*	308,3	26,0	0,54 ± 0,004*	359,6	80,9
№ 5 B	0,36 ± 0,004*	371,2	54,6	0,34 ± 0,006*	348,2	41,7
№ 6 A	0,61 ± 0,015*	340,3	27,7	0,59 ± 0,005*	388,5	69,1

Окончание табл. 1

№ 6 В	$0,38 \pm 0,005^*$	387,5	45,4	$0,35 \pm 0,005^*$	350,5	43,8
№ 7 А	$0,51 \pm 0,005^*$	282,3	54,4	$0,46 \pm 0,007^*$	305,4	42,7
№ 7 В	$0,28 \pm 0,008^*$	291,3	21,9	$0,27 \pm 0,013^*$	275,8	12,9
№ 8 А	$0,53 \pm 0,03^*$	294,0	11,7	$0,49 \pm 0,013^*$	321,5	24,4
№ 8 В	$0,35 \pm 0,004^*$	355,7	51,2	$0,34 \pm 0,007^*$	346,3	32,6
№ 9 А	$0,51 \pm 0,03^*$	286,1	11,2	$0,47 \pm 0,013^*$	312,6	23,5
№ 9 В	$0,4 \pm 0,017^*$	414,7	17,4	$0,29 \pm 0,005^*$	295,6	37,9

Примечание. Здесь и в таблице 2: А – пахотный горизонт, В – подпахотный горизонт, М – среднее значение признака, m – ошибка среднего, % – процент превышения значений по отношению к аналогичным почвенным горизонтам участка № 1, Tst – значения критерия Стьюдента, * – различия статистически достоверны при $p < 0,05$

Несмотря на значительные различия в аккумуляции нитритного азота почвами модельных участков, существенного влияния на обеспеченность культурных растений этим элементом он не оказывает и характер как профильного, так и линейного его распределения может рассматриваться только лишь в качестве показателя направленности трансформации соединений минерального азота [20].

Следует отметить, что по сравнению с периодом активного формирования вегетативной массы в почве модельных участков после уборки урожая не было зафиксировано значимых различий не только в абсолютных значениях содержания нитритного азота, но и в процентном соотношении относительно показателей зональной почвы (табл. 1).

Анализ данных таблицы 2 свидетельствует о том, что уровень накопления нитратного азота по модельным участкам в целом схож с распределением его нитритной формы. Так, наименьшим содержанием нитратов характеризовались почвы участков под зерновыми культурами (№ 2–4), в которых концентрация данной формы минерального азота снижалась в 1,5–2,9 раза относительно контрольных значений. Показанная тенденция прослеживалась как для пахотного, так и для нижележащего горизонтов. В данном случае главным негативным фактором является не положение участков по элементам рельефа и степень смывости почвы, а длительное бесменное выращивание культур с высоким уровнем выноса данной формы минерального азота из почвы (пшеница и кукуруза), что

не компенсируется внесением минеральных удобрений и приводит к постепенному истощению его пула. Использование региональной агротехники выращивания сельскохозяйственных культур с применением необходимых доз минеральных удобрений привело к тому, что в почве участков № 5–9 зафиксирована наивысшая концентрация данной формы азота, превышающая показатели контрольной почвы на 10–52 %. Изучение характера распределения нитратного азота по почвенному профилю показало приуроченность его аккумуляции к пахотному горизонту, обусловленную высокой биологической активностью верхнего слоя почвы и лучшими гидротермическими условиями (табл. 2).

При анализе данных по изучению содержания нитратного азота в период после уборки урожая не было зафиксировано существенных различий в темпах аккумуляции этой формы азота и относительные показатели его накопления по сравнению с контрольными значениями остались преимущественно на одном уровне. Однако вследствие того, что образование нитратов в почве, будучи результатом биологической деятельности микроорганизмов, имеет выраженную сезонность – резкое увеличение с весны к началу лета и постепенное уменьшение к осени, абсолютные значения содержания азота нитратных соединений были несколько снижены по сравнению с аналогичными показателями в период активного формирования вегетативной массы.

Таблица 2. Содержание нитратного азота ($\text{мг N-NO}_3^-/\text{100 г почвы}$) в почвах сельскохозяйственных угодий

Участок/ горизонт	Период активного формирования вегетативной массы			После уборки урожая		
	$M \pm m$	% к контролю	Tst	$M \pm m$	% к контролю	Tst
№ 1 А	$0,78 \pm 0,03$	—	—	$0,72 \pm 0,02$	—	—
№ 1 В	$0,61 \pm 0,02$	—	—	$0,57 \pm 0,02$	—	—
№ 2 А	$0,45 \pm 0,01^*$	57,5	9,5	$0,36 \pm 0,01^*$	50,8	16,4
№ 2 В	$0,21 \pm 0,03^*$	34,4	11,1	$0,25 \pm 0,02^*$	44,2	13,1
№ 3 А	$0,5 \pm 0,01^*$	63,9	8,19	$0,32 \pm 0,01^*$	44,2	21,9
№ 3 В	$0,24 \pm 0,01^*$	39,9	20,5	$0,2 \pm 0,01^*$	35,1	19,2
№ 4 А	$0,52 \pm 0,02^*$	66,7	7,21	$0,53 \pm 0,01^*$	73,7	8,81
№ 4 В	$0,26 \pm 0,02^*$	42,6	12,4	$0,35 \pm 0,02^*$	61,3	8,07
№ 5 А	$0,95 \pm 0,02^*$	121,7	4,42	$0,88 \pm 0,02^*$	122,8	6,83
№ 5 В	$0,53 \pm 0,01^*$	86,8	4,29	$0,5 \pm 0,03$	87,8	1,97
№ 6 А	$1,27 \pm 0,02^*$	163,0	12,8	$1,17 \pm 0,01^*$	163,0	24,8
№ 6 В	$0,76 \pm 0,01^*$	125,1	7,49	$0,71 \pm 0,03^*$	125,6	4,2
№ 7 А	$1,01 \pm 0,01^*$	129,8	6,74	$0,85 \pm 0,04^*$	118,6	3,27
№ 7 В	$0,64 \pm 0,01$	105,5	1,85	$0,56 \pm 0,01$	98,3	0,41
№ 8 А	$1,18 \pm 0,03^*$	151,4	9,06	$0,91 \pm 0,02^*$	126,7	8,37
№ 8 В	$0,85 \pm 0,03^*$	139,4	6,72	$0,68 \pm 0,02^*$	120,7	3,99
№ 9 А	$1,16 \pm 0,02^*$	149,4	9,99	$0,8 \pm 0,02^*$	111,3	3,07
№ 9 В	$0,79 \pm 0,01^*$	130,3	10,3	$0,59 \pm 0,02$	130,7	0,85

Имеются данные, подтверждающие взаимосвязь между различными формами азота и кислотностью почвы как одного из основных факторов почвенного плодородия, оказывающих значительное влияние на формирование вегетативной массы и урожая сельскохозяйственных культур. Так, доказана тесная отрицательная связь между содержанием нитратного азота и рН водной и солевой вытяжки [19].

При вычислении корреляционной связи между формами азота и различными видами кислотности почвы на исследуемых участках установлено наличие сильной положительной или отрицательной связи между этими показателями (табл. 3). Следует отметить, что тот или иной вид кислотности по-разному влияет на содержание обеих форм азота. Так, из проведенных исследований следует, что с возрастанием значений актуальной кислотности (при смещении значений в щелочную сторону) содержание как нитратного, так и нитритного

азота увеличивается и при кислой реакции среды наблюдается минимальное их содержание. При слабощелочной или нейтральной реакции среды фиксируется наибольшее количество как нитратного, так и нитритного азота, что дает основание использовать значения актуальной кислотности в качестве диагностических признаков при оценке плодородия почв.

Проведенные исследования являются прямым подтверждением тесной связи и зависимости содержания нитратного и нитритного азота и различных видов кислотности почвы.

С другой стороны, отрицательная связь между абсолютными значениями гидролитической и обменной кислотности и содержанием минерального азота указывает на наличие потенциально опасных условий для выращивания сельскохозяйственных культур при возрастающих значениях этих видов кислотности, где содержание нитратного и нитритного азота минимально.

Таблица 3. Коэффициенты корреляции между содержанием нитратной и нитритной форм азота и различными видами кислотности (период активного формирования вегетативной массы)

Горизонт	NO_3^- – рН	NO_3^- – обменная кислотность	NO_3^- – гидролитическая кислотность	NO_2^- – рН	NO_2^- – обменная кислотность	NO_2^- – гидролитическая кислотность
А	0,908* (сильная)	-0,858* (сильная)	-0,851* (сильная)	0,958*** (сильная)	-0,865* (сильная)	-0,863* (сильная)
В	0,888* (сильная)	-0,894* (сильная)	-0,833** (сильная)	0,946*** (сильная)	-0,922* (сильная)	-0,858* (сильная)

Примечание. * – 99 % уровень значимости; ** – 95 % уровень значимости; *** – 99,9 % уровень значимости

Выводы

Установлено, что содержание нитритного азота в почвах под зерновыми культурами – минимально и значительно ниже контрольных показателей (в 1,7–2,6 раз). Согласно литературным данным и исходя из результатов наших исследований, отмеченные различия в аккумуляции нитритного азота почвами модельных участков не оказывают влияния на их обеспеченность азотом.

При изучении содержания нитратного азота в почвах сельхозугодий выявлен максимум его аккумуляции на участках под овощными культурами (№ 5–9), что связано с использованием стандартной региональной агротехники выращивания сельскохозяйственных культур и использованием необходимых доз минеральных удобрений. Изучение характера распределения нитратного азота по почвенному профилю показало приуроченность его аккумуляции в пределах пахотного горизонта, обусловленную высокой биологической активностью верхнего слоя почвы и лучшими гидротермическими условиями.

Установлена тесная корреляционная связь между различными видами кислотности и содержанием обеих форм минерального азота.

1. Аленичева А.Д., Щуклина О.А. Эффективность внесения различных доз азотного удобрения на яровой тритикале в условиях московской области // Российская сельскохозяйственная наука. 2023. № 3. С. 55–58.
2. Аммонс Т., Беляев А.Б., Брайант Р., Васенев И.И., Васенева Э.Г., Володин В.М., Де-

вятова Т.А., Жидеева В.А., Козловский Ф.И., Крупеников И.А., Масютенко Н.П., Медведев В.В., Михайлова Е.А., Надежкин С.М., Протасова Н.А., Стахурлова Л.Д., Стороженко Н.В., Унгурия В.Г., Хазиев Ф.Х., Ханеклаус С., Шнуг Э., Щеглов Д.И., Щербаков А.П. Антропогенная эволюция черноземов / отв. ред. А.П. Щербаков, И.И. Васенев. Воронеж: Воронежский государственный университет, 2000. 411 с.

3. Гунгер М.В., Абрамов Н.В. Динамика нитратного азота почвы при использовании КАС в острозасушливых условиях // Агропродовольственная политика России. 2023. № 2 (105). С. 9–13.
4. Державин Л.М., Фрид А.С. Научно-методические принципы комплексного мониторинга плодородия земель сельскохозяйственного назначения // Агрохимия. 2012. № 2. С. 3–11.
5. Добрянская С.Л. Изменение свойств чернозема выщелоченного при длительном сельскохозяйственном использовании // Проблемы плодородия почв в современном земледелии. Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию освоения целинных и залежных земель (Красноярск, 24–28 июня 2024 г.). Красноярск: ФИЦ КНЦ СО РАН, 2024. С. 55–57.
6. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Альянс, 2011. 350 с.

7. Завьялова Н.Е. Гумус и азот дерново-подзолистой почвы различных сельскохозяйственных угодий Пермского края // Почвоведение. 2016. N 11. С. 1347–1354.
8. Кочергин А.Е. Режим подвижных форм азота в черноземах Западной Сибири и эффективность минеральных удобрений // Результаты исследования почв, питания растений и применения удобрений в условиях Северного Казахстана. Целиноград: ЦСХИ, 1972. Т. 7, Вып. 2. С. 121–123.
9. Кудяров В.Н. Цикл азота в почве и эффективность удобрений. М.: Наука, 1989. 216 с.
10. Методические рекомендации по морфологическому описанию почв / сост. А.Г. Дюкарев, Н.Н. Пологова, Л.И. Герасько. Томск: Изд-во СО РАН, 1999. 39 с.
11. Методы почвенной микробиологии и биохимии / под. ред. Д.Г. Звягинцева. М.: Изд-во МГУ, 1991. 304 с.
12. Практикум по агрохимии / под ред. В.Г. Минеева. М.: Изд-во МГУ, 2001. 689 с.
13. Практические рекомендации по почвенной диагностике азотного питания полевых культур и применению азотных удобрений в сибирском земледелии / под. ред. Г.П. Гамзикова. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2018. 48 с.
14. Розанов Б.Г. Морфология почв. М.: Академический проект, 2004. 432 с.
15. Смирнова Л.Г., Михайленко И.И., Смирнов Г.В., Кувшинова А.А. Особенности профильного и пространственного распределения нитратного азота в почвах эрозийных ландшафтов // Достижения науки и техники АПК. 2020. N 5 (34). С. 13–17.
16. Сыщиков Д.В., Агурова И.В. Содержание минерального азота в деградированных почвах сельскохозяйственных угодий Шахтерского района Донецкой Народной Республики // Промышленная ботаника. 2023. Вып. 23, N 2. С. 61–66.
17. Сыщиков Д.В., Березовский А.С., Агурова И.В. Влияние деградационных процессов на ферментативную активность и содержание форм минерального азота почв сельхозугодий // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2024. Вып. 121. С. 28–46.
18. Троц Н.М., Чернякова Г.И., Бокова А.А., Суворов Е.Е. Динамика подвижных форм нитратного и аммонийного азота в черноземных почвах Самарского аграрного карбонового полигона // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. Т. 9, N 4. С. 23–28.
19. Чевердин Ю.И., Беспалов В.А., Титова Т.В. Критерии обеспеченности черноземных почв нитратным азотом в агроландшафтах ЦЧЗ // Центральный научный вестник. 2018. Т. 3, N 20 (61). С. 39–41.
20. Шеуджен А.Х. Агробиогеохимия чернозема. 2-е изд. доп. и перераб. Майкоп: Полиграф-ЮГ, 2018. 308 с.
21. Щербаков А.П., Чуян Г.А., Виноградов Ю.А. Азот в современных агроландшафтах Центрально-Черноземной зоны (ЦЧЗ) // Агрохимия. 1990. N 11. С. 38–46.

Поступила в редакцию: 18.03.2025

AGROECOLOGICAL ASSESSMENT OF THE NITRATE AND NITRITE FORMS OF NITROGEN CONTENT IN AGRICULTURAL SOILS OF DONBASS

D.V. Syshchykov, I.V. Agurova, A.S. Berezovskiy

Federal State Budgetary Scientific Institution «Donetsk botanical garden»

The article presents the results of studies on the content of nitrate and nitrite forms of nitrogen in agricultural soils of the Donetsk People's Republic, which made it possible to identify patterns of nitrogen distribution along the soil profile. The smallest amount of both nitrite and nitrate nitrogen was recorded under grain crops, which indicates non-compliance with land use measures, the maximum – in areas under vegetable crops, in compliance with the standard regional agricultural technology for growing crops and using the necessary doses of mineral fertilizers. A close correlation has been established between different types of acidity and the content of both forms of nitrogen.

Key words: nitrate nitrogen, nitrite nitrogen, degradation, agricultural soils, fertility

Citation: Syshchykov D.V., Agurova I.V., Berezovskiy A.S. Agroecological assessment of the nitrate and nitrite forms of nitrogen content in agricultural soils of Donbass // Industrial botany. 2025. Vol. 25, N 2. P. 56–63. DOI: 10.5281/zenodo.15771731
