

DOI 10.31029/vestdnc94/7

УДК 631.416.1; 631.417.4

АЗОТНЫЙ ФОНД АГРОЧЕРНОЗЕМОВ КАНСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ

Н. Л. Кураченко, ORCID: 0000-002-1761-4995

Е. Ю. Казанова, ORCID: 0009-0005-1101-3477

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

NITROGEN FUND OF AGRO-CHERNOZEM (BLACK SOILS) IN THE KANSK FOREST-STEPPE

N. L. Kurachenko, ORCID: 0000-002-1761-4995

E. Yu. Kasanova, ORCID: 0009-0005-1101-3477

Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia

Аннотация. В работе представлены результаты изучения азотного фонда агрочерноземов Канской лесостепи, расположенной в восточной части земледельческой зоны Красноярского края. Объектом исследования явились агрочерноземы, представляющие основу пахотного фонда региона. Показано, что почвы, функционирующие в условиях агроценозов, характеризуются высоким содержанием гумуса и общего азота, убывающим в ряду подтипов агрочерноземов: глинисто-иллювиальные оподзоленные – глинисто-иллювиальные типичные – криогенно-мицелиарные. Основная масса азотных соединений в почвах представлена негидролизующим азотом (88–97%). На долю трудногидролизующего азота приходится 7–8%, легкогидролизующего 2–4%, минерального 1% от запасов общего азота. Запасы негидролизующего азота в метровой толще почв постепенно снижаются в ряду подтипов агрочерноземов от 24,7 до 9,9 т/га, трудногидролизующего от 1,9 до 0,9 т/га. Более узкие интервалы колебаний выявлены для запасов легкогидролизующего азота. В слое 0–100 см они оцениваются величиной 0,5–0,6 т/га. Запасы аммонийного азота в агрочерноземах оцениваются величиной 0,12–0,07 т/га с максимумом, характерным для агрочерноземов глинисто-иллювиальных оподзоленных. По запасам нитратного азота подтипы агрочерноземов существенно не различаются. В слое 0–20 см они составляют 0,01 т/га, 0–100 см – 0,02 т/га.

Abstract. The paper presents the results of studying the nitrogen fund of agrochernozems of the Kansk forest-steppe located in the eastern part of the agricultural zone of the Krasnoyarsk Territory. The object of the study are the agro-chernozems which are the basis of the arable fund of the region. It is shown that the soils functioning in agroecosystems are characterized by a high content of humus and the total nitrogen, decreasing in the series of the agrochernozem subtypes: clay-illuvial podzolized – clay-illuvial typical – cryogenic-mycelial. The bigger part of the nitrogen compounds in the soils is represented by non-hydrolyzable nitrogen (88–97%). The share of hardly hydrolyzable nitrogen accounts for 7–8%, easily hydrolyzable nitrogen – 2–4%, mineral – 1% of the total nitrogen reserves. The reserves of the non-hydrolyzable nitrogen in the meter-thick soil layer gradually decrease in a series of the agrochernozem subtypes from 24,7 to 9,9 t/ha, and of hardly hydrolyzable nitrogen from 1,9 to 0,9 t/ha. Narrower ranges of fluctuations are revealed for the reserves of the easily hydrolyzable nitrogen. In the 0–100 cm layer, they are estimated at 0,5–0,6 t/ha. The reserves of the ammonium nitrogen in the agrochernozems are at 0,12–0,07 t/ha with a maximum characteristic of the clay-illuvial podzolized agrochernozems. The subtypes of the agrochernozems do not differ significantly in the reserves of the nitrate nitrogen. In the 0–20 cm layer, they are 0,01 t/ha, 0–100 cm – 0,02 t/ha.

Ключевые слова: агрочернозем, азотный фонд, общий азот, негидролизующий азот, трудногидролизующий азот, легкогидролизующий азот, аммонийный азот, нитратный азот.

Keywords: agrochernozem, nitrogen fund, total nitrogen, non-hydrolyzable nitrogen, hardly hydrolyzable nitrogen, easily hydrolyzable nitrogen, ammonium nitrogen, nitrate nitrogen.

Фракционный состав азота, являясь одним из важнейших показателей качественного состояния почв, зависит от процессов гумусообразования. Накопление в почве гумуса и общего азота определяется условиями почвообразования и формирует потенциальное плодородие почв [1]. При этом между содержанием гумусовых веществ и азота существует тесная корреляционная зависимость, обусловленная тем, что весь почвенный азот (за исключением природно-фиксированного и незначительного поступления с атмосферными осадками) является результатом биологической аккумуляции: около 90% азота почвы находится в органической форме, генетически связанной с гумусом [2, 3]. Известно, что основная часть азота представлена органическими соединениями, на долю минеральной части приходится около 3–4% [4, 5].

Основу пахотных земель Канской лесостепи, расположенной в восточной части земледельческой зоны Красноярского края, составляют интенсивно используемые черноземы. Сельскохозяйственная деятельность приводит к существенному перераспределению азотного пула [6], что обусловлено трансформацией многокомпонентного и постоянно меняющегося органического вещества почв особенно при смене технологий землепользования [7, 8].

Целью настоящей работы явилась оценка современного состояния азотного фонда агрочерноземов Канской лесостепи.

Материалы и методы

Исследования по изучению азотного фонда агрочерноземов проведены на территории ООО «ОПХ Соляное», в Канской лесостепи Канско-Рыбинского геоморфологического округа. На этой территории выпадает 360–450 мм осадков в год, среднегодовая температура воздуха изменяется от $-0,3$ °C до $-1,7$ °C. Продолжительность периода биологической активности варьирует в пределах 84–115 сут. Сумма активных температур составляет 1561–1818 °C, почвы промерзают на глубину 1,5–3,0 м.

Объектами исследования явились агрочерноземы глинисто-иллювиальные оподзоленные, глинисто-иллювиальные типичные и криогенно-мицелярные. Опорные разрезы закладывали в пределах двух пахотных массивов площадью по 50 га, характеризующихся широко-увалистым рельефом со слабо выраженным микрорельефом в виде мелких понижений и повышений разной формы, что типично для большей части Канской лесостепи. Для определения классификационной принадлежности почв применена «Классификация и диагностика почв России» [9]. Морфологическое описание почв и отбор почвенных образцов проведен по генетическим горизонтам. В образцах определяли: общий углерод гумуса по Тюрину; валовой азот (ГОСТ 26107-84); трудногидролизуемый и легкогидролизуемый азот по методу Корнфильда; аммонийный азот (ГОСТ 26489-85) и нитратный азот (ГОСТ 26488-85).

Результаты и их обсуждение

Черноземы Канской лесостепи, функционирующие в условиях агроценозов, характеризуются высоким содержанием гумуса и азота. Высокое содержание общего азота в агрочерноземах глинисто-иллювиальных оподзоленных, достигающее 2800–4700 мг/кг, сохраняется по всему профилю и постепенно снижается в связи с изменением гумуса (табл. 1). Для почв этого подтипа характерна средняя, низкая и очень низкая обеспеченность гумуса азотом. Отношение углерода к азоту изменяется по генетическим горизонтам от 9 до 15.

Таблица 1. Содержание углерода и азота в агрочерноземах глинисто-иллювиальных оподзоленных

Горизонт	Глубина, см	C, %	N _{общ} , мг/кг	N _{тг} , мг/кг	N _{лг} , мг/кг	N _{нг} , мг/кг	N-NH ₄ , мг/кг	N-NO ₃ , мг/кг	C:N
Р. 2 – Агрочернозем глинисто-иллювиальный оподзоленный мощный									
PU	0–22	5,0	4700,0	303,8	95,2	4285,2	12,0	3,8	10,6
AU	22–52	4,8	3600,0	289,8	74,2	3222,9	10,5	2,7	13,3
AUe	52–69	4,6	3300,0	300,3	88,2	2899,9	9,7	1,8	13,9
ВIe	69–93	2,8	2300,0	163,8	60,2	2067,5	7,2	1,2	8,5
ВI	93–100	1,9	1500,0	16,8	26,3	1452,6	3,5	0,7	12,7
Р. 5 – Агрочернозем глинисто-иллювиальный оподзоленный мощный									
PU	0–22	3,5	2900,0	259,0	93,3	2529,3	15,6	2,7	12,1
AU	23–56	3,8	2800,0	108,5	23,7	2650,9	14,7	2,1	13,6
AUe	56–90	2,7	1800,0	38,5	15,4	1731,3	13,8	1,0	15,0
ВIe	90–100	1,4	1100,0	29,0	10,0	1055,4	5,3	0,3	12,7

Наиболее узкое отношение C:N в профиле агрочерноземов глинисто-иллювиальных оподзоленных отмечено в горизонтах PU и ВIe, что обусловлено снижением доли гуминовых кислот.

Азотный фонд почв определяется долевым участием и соотношением форм азота в его суммарном содержании. Установлено, что основная масса азотистых соединений в агрочерноземах представлена недоступными для питания органическими формами. По мнению [10], это чрезвычайно стойкая к микробиологическому разложению часть азота, она практически не участвует в биологическом круговороте.

На долю этой фракции азота в горизонтах PU и AU агрочерноземов глинисто-иллювиальных оподзоленных приходится от 87 до 94% от общего азота. Следует отметить, что доля негидролизуемого азота возрастает вниз по профилю почвы и составляет 89–97% от общего азота. Это свидетельствует о высокой устойчивости азотсодержащих соединений агрочерноземов к гидролизу. Процессы превращения азота в почвах Канской лесостепи заторможены суровыми биоклиматическими условиями, при которых значительная часть азотсодержащих соединения превращается в «мертвый» азотный фонд, исключается из биологического круговорота и питания растений. В агрочерноземе глинисто-иллювиальном содержание трудногидролизуемого азота в горизонтах PU и AU составляет 108–303 мг/кг (3–9% от общего азота).

Легкогидролизуемую фракцию азотистых веществ принято считать ближайшим резервом для питания растений [11]. При низкой обеспеченности легкогидролизуемым азотом максимальное содержание этой фракции (95–93 мг/кг) в агропочвах выявлено в горизонтах PU с постепенным снижением с глубиной до 10–26 мг/кг. Известно, что содержание легкогидролизуемого азота в почвах испытывает значительные колебания в зависимости от погодных условий, влажности почв, аэрации. В отдельные периоды, благоприятные для процессов минерализации, легкогидролизуемый азот в большей своей части представлен минеральным азотом, а в другие сезоны – органическими соединениями.

Небольшая доля азота представлена минеральными соединениями, в составе которых присутствует аммонийный и нитратный азот. Накопление в почве минерального азота зависит от интенсивности процессов разложения и минерализации органического вещества, от скорости биологического синтеза новых азотсодержащих органических соединений [12]. Основным источником минерального азота в почве являются продукты минерализации гумуса, растительных остатков, а также органических удобрений [13–16]. Исследованиями установлено, что содержание нитратной формы азота в агрочерноземах глинисто-иллювиальных оподзоленных не превышает 0,1% по всему профилю почвы от общего азота. Преобладающей формой минерального азота в профиле почвы является аммонийный азот. Он составляет 10–14 мг/кг в верхних слоях почвы (0,20,5% от общего азота), постепенно снижаясь по профилю почвы.

Таблица 2. Содержание углерода и азота в агрочерноземах глинисто-иллювиальных типичных

Горизонт	Глубина, см	C, %	N _{общ} , мг/кг	N _{тг} , мг/кг	N _{лг} , мг/кг	N _{нг} , мг/кг	N-NH ₄ , мг/кг	N-NO ₃ , мг/кг	C:N
Р. 1 – Агрочернозем глинисто-иллювиальный типичный мощный									
PU	0–23	4,6	4200,0	307,3	145,6	3733,1	11,1	2,8	11,0
AU	23–47	3,7	3400,0	245,3	128,1	3014,7	8,8	3,3	10,9
AUB	47–68	1,6	1300,0	51,8	51,1	1190,5	5,1	1,5	12,3
BI	68–84	0,5	500,0	27,3	25,1	442,2	4,3	1,1	10,0
Bmc	84–100	0,6	700,0	13,3	23,1	658,9	3,7	0,9	8,6
Р. 3 – Агрочернозем глинисто-иллювиальный типичный среднемощный									
PU	0–23	3,5	2700,0	245,0	109,2	2331,2	11,6	2,9	13,0
AU	23–35	3,4	2700,0	252,0	95,2	2340,5	10,4	1,8	12,6
AUB	40–50	1,3	1100,0	91,0	32,2	970,1	4,8	1,9	11,8
BI	55–65	0,5	600,0	56,0	4,2	533,8	4,3	1,6	8,3
Bca	75–100	0,6	300,0	52,5	11,2	231,1	4,0	1,1	20,0
Р. 4 – Агрочернозем глинисто-иллювиальный типичный среднемощный									
PU	0–22	3,5	2900,0	224,0	95,2	2563,8	12,0	5,0	12,1
AU	22–40	3,5	2200,0	105,0	18,2	2065,8	8,4	2,6	15,9
AUB	40–57	0,3	400,0	45,5	11,2	335,5	6,1	1,7	7,5
Bmc	57–100	0,3	500,0	40,5	10,2	443,5	3,9	1,9	6,0

В агрочерноземах глинисто-иллювиальных типичных отмечено более низкое содержание общего азота. В гумусовой толще почв его концентрация составляет 4200–2200 мг/кг (табл. 2). Установлена дифференциация профиля по обеспеченности гумуса азотом. Она заключается в том, что на фоне низкой и очень низкой обеспеченности гумуса азотом с глубины 50–60 см она становится средней и высокой. Полученные закономерности объясняются подвижностью азотистых соединений в почвах [17].

В профиле агрочерноземов глинисто-иллювиальных типичных на долю негидролизующихся соединений азота приходится 86–93% от общего азота. Трудногидролизующая фракция азота в пахотных горизонтах составляет 5–9% от общего азота, существенно снижаясь под гумусовым горизонтом. По-видимому, причиной такой изменчивости степени подвижности азотистых веществ является разнокачественный состав гумуса в профиле почв. Агрочерноземы глинисто-иллювиальные типичные лучше обеспечены легкогидролизующим азотом по сравнению с оподзоленными подтипами. В пахотных горизонтах РU двух разрезов выявлена средняя обеспеченность легкогидролизующим азотом (109–146 мг/кг). Более высокая способность к гидролизу органических соединений азота в агрочерноземах глинисто-иллювиальных типичных обусловлена лучшей прогреваемостью последних. Доля легкогидролизующей фракции составляет 1–4% по всему профилю почвы.

Таблица 3. Содержание углерода и азота в агрочерноземах криогенно-мицелярных

Горизонт	Глубина, см	Углерод, %	N _{общ} , мг/кг	N _{тг} , мг/кг	N _{лг} , мг/кг	N _{нг} , мг/кг	N-NH ₄ , мг/кг	N-NO ₃ , мг/кг	C:N
Р. 6 – Агрочернозем криогенно-мицелярный маломощный									
PU	0–22	3,2	2800,0	185,5	94,4	2503,5	14,1	2,5	11,6
AUB	22–28	1,5	1500,0	122,5	25,7	1336,5	13,4	1,8	10,1
Bmc	28–60	0,5	600,0	28,0	15,7	541,6	13,2	1,4	8,7
Bmc	60–100	0,3	580,0	23,4	15,6	536,7	13,0	1,3	5,0
Р. 7 – Агрочернозем криогенно-мицелярный маломощный									
PU	0–22	3,6	2070,0	208,6	112,0	1733,7	5,6	10,1	17,4
AU	22–32	3,7	1840,0	160,0	84,0	1583,3	2,7	9,9	19,9
AUB	32–67	1,3	1470,0	133,0	40,5	286,7	3,4	6,4	8,7
Bmc	67–100	1,1	680,0	28,0	28,0	614,9	5,0	4,0	16,2
Р. 8 – Агрочернозем криогенно-мицелярный среднеспособный									
PU	0–22	3,7	1990,0	166,6	91,0	1699,9	15,2	17,2	18,7
AU	22–28	4,2	1790,0	133,0	56,0	1586,5	5,3	9,2	23,3
AUB	28–45	4,4	1470,0	101,5	40,0	1316,7	5,8	5,9	29,6
B	45–60	1,3	740,0	28,0	29,0	673,3	6,2	3,4	18,0
Bmc	60–100	0,9	530,0	10,0	26,5	487,8	2,8	2,9	17,0

Результаты исследований показывают, что для профильного распределения аммонийного азота характерно уменьшение абсолютного содержания. Так, в верхних горизонтах содержание этой формы азота колеблется в пределах 8–11 мг/кг и свидетельствует о средней обеспеченности почвы в весенний период (0,2–0,4% от общего азота). Относительное его содержание увеличивается вниз по профилю и достигает 0,7–1% от общего азота. Наличие аммонийного азота в глубоких слоях черноземов связано

с передвижением по профилю гуматов аммония. С.А. Жакаевым [18] доказано, что чрезмерный избыток влажности, как и резкий недостаток влаги в почве, подавляет нитрификацию, но не препятствует аммонификационному процессу, что и приводит к увеличению содержания в почве аммонийного азота. В агрочерноземах глинисто-иллювиальных типичных на фоне очень низкой обеспеченности профиля нитратным азотом его доля в пахотных горизонтах составляет 0,3–0,6% от общего азота. Однако выявлена закономерность увеличения этой доли азота в нижележащих слоях почвенного профиля до 1–2%.

Наименьшим содержанием общего азота среди изученных подтипов отличаются агрочерноземы криогенно-мицелярные с малой мощностью гумусовых горизонтов (табл. 3). Содержание общего азота в профиле почв изменяется от 2800 до 530 мг/кг. Для гумусово-аккумулятивных горизонтов этого подтипа агрочерноземов характерна очень низкая и низкая обогаченность гумуса азотом (С:N = 30-11).

Общей особенностью распределения всех фракций органического азота в агрочерноземах криогенно-мицелярных является их аккумуляция в слое 0–40 см. На долю негидролизующей фракции азота в гумусовых горизонтах этого подтипа приходится 83–89% от содержания N_{общ.} Вниз по профилю доля этой фракции азота увеличивается до 90–92%. Полученные результаты свидетельствуют о наличии труднодоступных микроорганизмам соединений, что определяет недостаток в усвояемых формах азота. Содержание трудногидролизующего азота в агрочерноземах криогенно-мицелярных в горизонтах PU составляет 209–167 мг/кг и колеблется в пределах 7–10% от содержания общего азота. На фракцию легкогидролизующих соединений приходится 2–5% от общего азота. Обеспеченность легкогидролизующим азотом генетических горизонтов агрочерноземов криогенно-мицелярных оценивается, как правило, на низком уровне и изменяется от 94 до 16 мг/кг. Исключение составляет почва **разреза 7**, где в гор. PU содержание легкогидролизующего азота соответствует средней обеспеченности.

В весенний период при достаточно высокой влажности и сравнительно лучших условиях прогреваемости этого подтипа выявлено преобладание нитратной формы минерального азота. Для аммонийной формы азота установлена низкая и повышенная обеспеченность, не превышающая 15 мг/кг. Содержание нитратного азота изменяется от средней до высокой обеспеченности (10–17 мг/кг). Аммонийный азот, так же как и в других подтипах агрочерноземов, имеет тенденцию к увеличению вниз по почвенному профилю, достигая максимума на глубине 70–80 см (0,7–2,2% от общего азота).

Определение абсолютных количеств (запасов) общего азота в агрочерноземах Канской лесостепи подтвердило известную географическую закономерность [19], заключающуюся в его понижении от агрочерноземов глинисто-иллювиальных оподзоленных к агрочерноземам криогенно-мицелярным (рис. 1). Запасы фракций негидролизующего и трудногидролизующего азота в 0–20 и 0–100 см толще снижаются от агрочерноземов глинисто-иллювиальных оподзоленных к агрочерноземам криогенно-мицелярным.

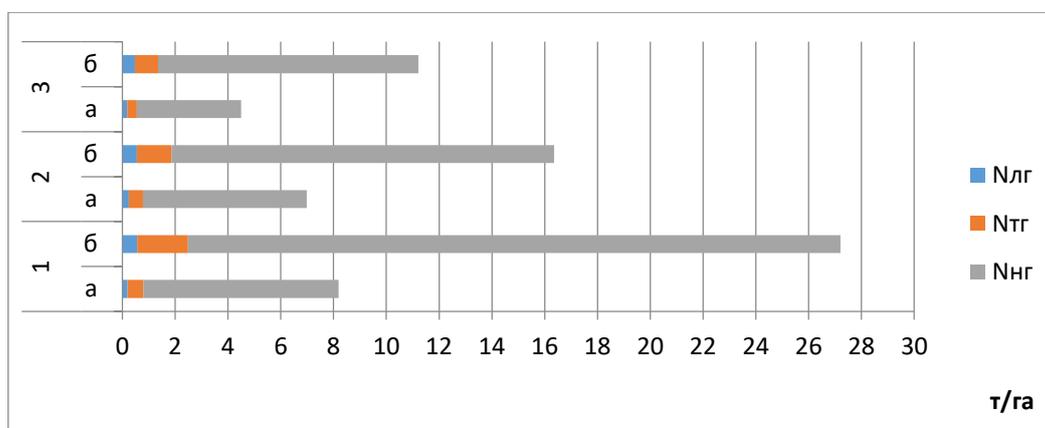


Рис. 1. Запасы органического азота в агрочерноземах, т/га: а – 0–20 см, б – 0–100 см; 1 – агрочернозем глинисто-иллювиальный оподзоленный (n = 2); 2 – агрочернозем глинисто-иллювиальный типичный (n = 3); 3 – агрочернозем криогенно-мицелярный (n = 3)

Запасы негидролизующего азота в метровой толще подтипов агрочерноземов оцениваются величиной 24,7–9,9 т/га, трудногидролизующего – 1,9–0,9 т/га. Для запасов легкогидролизующего азота

среди подтипов агрочерноземов установлены более узкие интервалы колебаний (0,5–0,6 т/га). В агрочерноземах глинисто-иллювиальных типичных по сравнению с другими подтипами отмечено заметное увеличение запасов N_{lg} до 0,24 т/га в слое 0–20 см.

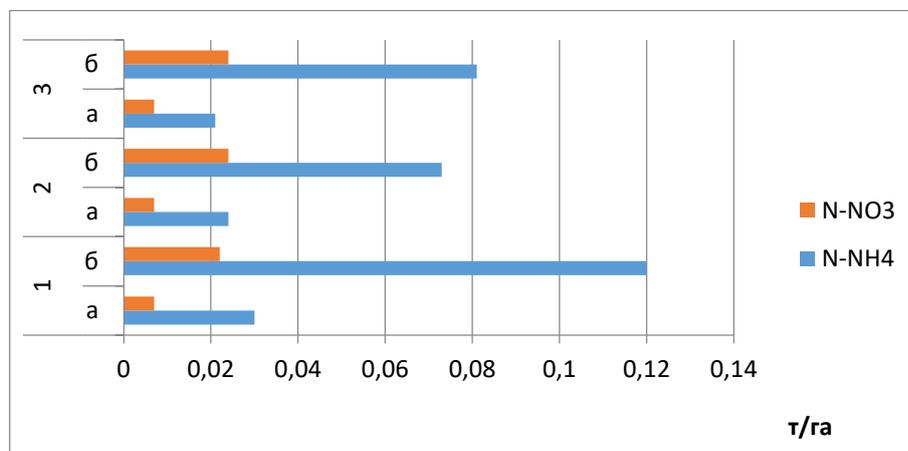


Рис. 2. Запасы минерального азота в агрочерноземах, т/га: а – 0–20 см, б – 0–100 см; 1 – агрочернозем глинисто-иллювиальный оподзоленный (n = 2); 2 – агрочернозем глинисто-иллювиальный типичный (n = 3); 3 – агрочернозем криогенно-мицелярный (n = 3)

Установленные закономерности фракционного состава почв определяют способность их к накоплению минерального азота. Исследования показывают незначительные запасы минерального азота в агрочерноземах всех подтипов (рис. 2).

Запасы аммонийного азота в метровой толще почв подтипов агрочерноземов оцениваются величиной 0,12–0,07 т/га с максимумом, характерным для агрочерноземов глинисто-иллювиальных оподзоленных. По запасам нитратного азота подтипы агрочерноземов существенно не различаются. В слое 0–20 см они составляют 0,01 т/га, 0–100 см – 0,02 т/га.

Таким образом, высокое содержание гумуса и общего азота в агрочерноземах Канской лесостепи, функционирующих в агроэкосистемах, характеризует их потенциальное плодородие. Содержание гумуса, его профильное распределение, фракционный состав азотного фонда являются характерными признаками подтипов агрочерноземов. Количество гумуса и органических форм азота уменьшается в ряду подтипов агрочерноземов: глинисто-иллювиальные оподзоленные – глинисто-иллювиальные типичные – криогенно-мицелярные. Азотный фонд пахотных черноземов представлен преимущественно стойкими органическими соединениями. В структуре запасов установлено преобладание негидролизующих (88–91%) и трудногидролизующих (7–8%) форм органического азота. Специфика азотного фонда агрочерноземов Канской лесостепи обуславливает невысокую подвижность азотсодержащих соединений. На долю легкогидролизующего азота в подтипах агрочерноземов приходится 2–4%, минерального азота – 0,5–0,8% с увеличением подвижности в агрочерноземах криогенно-мицелярных, обусловленной более благоприятным тепловым режимом этих почв.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зонально-провинциальные нормативы изменения агрохимических, физико-химических и физических показателей основных пахотных почв Европейской территории России при антропогенных воздействиях / А.С. Фрид, И.В. Кузнецова, И.Е. Королева, А.Г. Бондарев, Б.М. Козут, В.Ф. Уткаева, Н.А. Азовцева. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2010. 176 с.
2. Гамзиков Г.П. Агрохимия азота в агроценозах. Новосибирск, 2013. 790 с.
3. Давлятин И.Д., Лукманов А.А. Содержание гумуса и общего азота в почвах лесостепи и дозы азотных удобрений под планируемую урожайность яровой пшеницы // Агрохимический вестник. 2020. № 2. С. 16–20.
4. Tate R. Soil microbiology. 2000. 508 p.
5. Andrieg S. Agrochimia elementelor nutritive. Fertilitatea ecologica solurilor. Chisinau: Pontos, 2011. 230 p.
6. Фрунзе Н.И. Фракционный состав азота почвы и его запасы // Агрохимия. 2015. № 8. С. 23–31.

7. Умаров М.М., Кураков А.В., Степанов А.Л. Микробиологическая трансформация азота в почве. М.: Геос, 2008. 138 с.
8. Современное состояние земельных и почвенных ресурсов Красноярского края / В.В. Чупрова, Н.Л. Кураченко, О.А. Сорокина [и др.] // Почвы Сибири: особенности функционирования и использования : сборник научных статей, посвященный памяти известного сибирского почвовед, доктора сельскохозяйственных наук, профессора П. С. Булгакова. Вып. 4. Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2012. С. 13–37.
9. Классификация и диагностика почв России / Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. Герасимова. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
10. Чупрова В.В., Кадычегова А.Н., Кадычegov В.А. Азотный фонд почв Хакасии // Вестник КрасГАУ. 2008. № 4. С. 50–60.
11. Славнина Т.П. Азот в почвах элювиального ряда. Томск, 1978. 392 с.
12. Кураченко Н.Л., Бопп В.Л. Режим нитратного азота в черноземе при возделывании многолетних трав // Аграрный научный журнал. 2022. № 9. С. 29–33.
13. Завалин А.А., Соколов О.А., Шмырева Н.Я. Азот в агроecosистеме на черноземных почвах: К 125-летию экспедиции В.В. Докучаева в Каменную Степь. М.: Российская академия наук, 2018. 180 с.
14. Невзоров А.И. Действие минерального питания на содержание в почве азота при выращивании кукурузы на силос // Инновационные технологии в АПК : материалы Международной научно-практической конференции. Мичуринск: Мичуринский государственный аграрный университет, 2018. С. 182–186.
15. Черепухина И.В., Безлер Н.В. Агроэкологические аспекты сохранения плодородия чернозема выщелоченного при использовании соломы зерновых культур и *Humicola Fuscoatra* // Экологические проблемы развития агроландшафтов и способы повышения их продуктивности. Краснодар, 2018. С. 54–56.
16. Онищенко Л.М., Шалыпин В.В., Али А.К.А. Удобрение: минеральный азот в агроценозе озимой пшеницы // Энтузиасты аграрной науки. Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2020. С. 188–199.
17. Кадычегова А.Н. Запасы азота в черноземах и каштановых почвах и его основные потоки в агроценозах Минусинской котловины : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Красноярск, 2008. 17 с.
18. Жакаев С.А. Азотный фонд Костанайской области и эффективность применения азотных удобрений : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Уфа, 2005. 28 с.
19. Ерохина Н.Л. Содержание и запасы азота в почвах Средней Сибири (в пределах земледельческой территории Красноярского края) : дис. ... канд. биол. наук. Красноярск, 2002. 152 с.

Поступила в редакцию 01.04.2024 г.
Принята к печати 26.09.2024 г.

Кураченко Наталья Леонидовна, доктор биологических наук, профессор кафедры почвоведения и агрохимии, Красноярский государственный аграрный университет; e-mail: kurachenko@mail.ru

Natalya L. Kurachenko, Doctor of Biology, professor of the Department of Soil Science and Agrochemistry, Krasnoyarsk State Agrarian University; e-mail: kurachenko@mail.ru

Казанова Екатерина Юрьевна, аспирант кафедры почвоведения и агрохимии, Красноярский государственный аграрный университет; e-mail: laletina95@bk.ru

Ekaterina Yu. Kasanova, graduate student of the Department of Soil Science and Agrochemistry, Krasnoyarsk State Agrarian University; e-mail: laletina95@bk.ru