

УДК 631.416:631.445.41:631.51

СОДЕРЖАНИЕ И ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОДВИЖНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ АГРОЧЕРНОЗЕМОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СПОСОБОВ ОСНОВНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ

© 2020 г. Н. Л. Кураченко^{1,*}, А. А. Колесник¹

¹ Красноярский государственный аграрный университет
660049 Красноярск, просп. Мира, 90, Россия

*E-mail: kurachenko@mail.ru

Поступила в редакцию 11.04.2019 г.

После доработки 05.05.2019 г.

Принята к публикации 10.11.2019 г.

В полевом опыте установлено влияние способов обработки агрочернозема на содержание и пространственное распределение подвижных элементов питания. Показано, что минимальная обработка почвы приводила к повышению содержания нитратного азота в слое 0–20 см (15 мг/кг), усилению пространственной неоднородности показателя ($C_v = 25\%$) с симметричностью его распределения. Ресурсосберегающие технологии основной обработки почвы определили снижение содержания подвижного фосфора на 32–50, обменного калия — на 74–128 мг/кг по сравнению со вспашкой и локализацию элементов питания в слое 0–10 см с усилением вариабельности показателей до 23–28%. Посев пшеницы при применении нулевой обработки (технологии No-Till) повлиял на пространственное распределение аммонийного азота и обменного калия, увеличив объем выборок, приближавшихся к минимальным величинам.

Ключевые слова: агрочернозем, минимизация основной обработки почвы, аммонийный азот, нитратный азот, подвижный фосфор, обменный калий, пространственная неоднородность.

DOI: 10.31857/S0002188120030084

ВВЕДЕНИЕ

Широкое разнообразие почвенных свойств определяется естественными причинами и связано с действием основных факторов почвообразования в пространстве. Такими факторами являются рельеф, как перераспределитель влаги, растворимых веществ и тепла, водная эрозия и дефляционные процессы, мерзлотные явления, неоднородность почвообразующих пород, уровень залегания грунтовых вод, пестрота растительного покрова и воздействие животного мира. Неоднородность свойств почв сельскохозяйственных угодий имеет более выраженный характер [1–3], чем почв целинных аналогов. Микропестрота почв и горизонтальное пространственное варьирование свойств оцениваются как фундаментальные свойства самого почвенного покрова. Однако при исследовании пространственной неоднородности почвенных свойств из вариабельности, обусловленной формированием почвы как естественного исторического тела или предыдущей историей ее использования, часто не вычлениется динамичная составляющая, связанная с современным состоянием почв. Важнейшим условием, определяющим пространственную неоднородность распределения элементов

питания в пахотном слое, является характер производственной деятельности — господствующая система земледелия и система удобрения [4]. Эффективность систем обработки по способности регулирования почвенных процессов, связанных с плодородием, во многом обусловлена длительностью их применения, метеорологическими условиями, видом севооборота, культурами, представленными в нем, применением удобрений, средств защиты растений. Поэтому результаты применения систем обработки, их эффективность оцениваются различными авторами неоднозначно [5–8]. Цель работы — изучение пространственного распределения агрохимических показателей в условиях отвальной вспашки и ресурсосберегающих технологий основной обработки агрочерноземов.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проведено в зернопарокормовом севообороте в условиях полевого стационара “Миндерлинское” в Красноярской лесостепи (56°25'N и 92°53'E), расположенной на юго-западной окраине Средней Сибири. В пределах поля выделяется бугристо-западинный мезо- и мик-

порельеф, возникновение которого связано с протаиванием повторножильных ледяных клиньев и криотурбациями, свойственными вечной мерзлоте, охватывающей данную территорию во время последнего оледенения.

Структура почвенного покрова опытного поля общей площадью 9 га характеризуется сочетанием пятнистостей и элементарных почвенных ареалов. Фоновые почвы во всех комбинациях — агрочерноземы глинисто-иллювиальные маломощные, доминирующие на участке. Им везде сопутствуют агрочерноземы криогенно-мицелиарные. Третьей составляющей в трехкомпонентных комбинациях выступают агрочерноземы глинисто-иллювиальные мощные и глинисто-иллювиальные оподзоленные среднемощные. Контрастность элементарных почвенных структур слабая. Детальное обследование опытного участка с целью выявления неоднородности агроэкологического состояния почвенного покрова показало, что почвы характеризовались в слое 0–20 см высоким и очень высоким содержанием гумуса (6.1–11.1%), очень высокой суммой обменных оснований (53.2–62.0 ммоль/100 г), нейтральной, слабокислой и слабощелочной реакцией почвенного раствора ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ 6.5–7.9). В составе обменных катионов агрочерноземов доминировал Ca^{2+} , но в значительных количествах присутствовал и Mg^{2+} . Гидролитическая кислотность агрочерноземов низкая (0.3–5.0 мг-экв/100 г).

Оценку влияния ресурсосберегающих технологий основной обработки на пространственное распределение агрохимических показателей провели в первый год закладки полевого опыта в агроценозе пшеницы по следующей схеме: 1 — отвальная вспашка осенью ПН-5-35 на глубину 23–25 см, 2 — минимальная обработка осенью дискатом БДШ-5,6 на глубину 12–14 см, 3 — нулевая обработка (No-Till) (прямой посев сеялкой Агратор 4.8). Пшеницу сорта Новосибирская 15 возделывали после зернового предшественника на фоне применения N_{aa} 100. Варианты опыта в трехкратной повторности располагались систематически по длинной стороне участка, пересекая его с запада на восток. Общая площадь опытных делянок 1500 м², учетная — 500 м². Почвенные образцы отбирали в десятикратной повторности с шагом опробования 10 м в фазе начала кущения пшеницы. По мнению [9], шаг опробования, равный примерно 7 м, является тем оптимальным интервалом, с помощью которого наиболее четко обнаруживаются различия в агрохимических показателях между элементарными почвенными ареалами. Глубина отбора образцов — 0–10 и 10–20 см. В почвенных образцах определяли: нитратный азот (ГОСТ 26951-86), обменный аммоний (ГОСТ 26489-85), подвижный фосфор (ГОСТ 26204-91), обменный калий (ГОСТ 26204-91). Для характеристики распределений изученных почвенных свойств в про-

странстве вычисляли: среднее ($\bar{X}_{\text{cp}}$), дисперсию (стандартное отклонение S), коэффициент вариации (C_v), минимальную и максимальную величину (Lim), верхний (q_{75}) и нижний квартили (q_{25}). Для выявления достоверных различий средних использовали дисперсионный анализ [10].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Одним из определяющих факторов устойчивого функционирования агроэкосистем в земледелии является создание оптимальных условий потребления сельскохозяйственными культурами азота, находящегося в первом минимуме. Исследования, проведенные в полевом опыте, показали, что преобладающей формой минерального азота в агрочерноземе является аммонийная форма, образующаяся при трансформации азотных удобрений. На фоне применения N_{aa} обеспеченность почвы агроценоза яровой пшеницы в начале ее вегетации аммонийным азотом была очень высокой с незначительным и небольшим варьированием в пространстве ($C_v = 6\text{--}13\%$) (табл. 1). На всех фонах основной обработки среднее содержание аммонийного азота в почве оценивалось близкой величиной (35–40 мг/кг) без существенной дифференциации слоя 0–20 см. При физиологической равноценности в питании растений аммонийной и нитратной формы азота в полевых условиях отмечено преимущественное использование растениями нитратного азота. По мнению [11], роль аммонийного азота в питании растений проявляется во вторую половину вегетационного периода, когда растения имеют хорошо развитую корневую систему, а нитраты в почве отсутствуют.

Большая часть аммонийного азота в условиях благоприятных для нитрификации, сразу после аммонификации окисляется нитрифицирующими бактериями до нитратов. Достаточное увлажнение и оптимальные температуры в начале вегетации пшеницы способствовали накоплению в почве нитратной формы азота. Количественные оценки содержания и пространственного распределения N-NO_3 определял способ основной обработки почвы. Минимальная обработка почвы дискатом способствовала повышению содержания нитратного азота (16 мг/кг) в слое 0–10 см ($p = 0.03$). Вспашка и нулевая обработка почвы снижали содержание нитратного азота до 12–13 мг/кг. В слое 10–20 см среднестатистическое содержание нитратного азота постепенно уменьшалось в ряду обработок: минимальная (14 мг/кг) — отвальная (12 мг/кг) — нулевая (11 мг/кг). В условиях отвальной обработки агрочернозема получены самые низкие лимиты варьирования содержания N-NO_3 в слое 0–10 см (9–15 мг/кг). Коэффициент пространственного варьирования 16% свидетельствовал о небольшой изменчивости со-

Таблица 1. Статистические показатели содержания минерального азота в агрочерноземе, мг/кг ($n = 10$)

Показатель	N-NH ₄		N-NO ₃	
	0–10 см	10–20 см	0–10 см	10–20 см
Отвальная обработка				
$X_{cp} \pm S_x$	40.1 ± 2.0	37.9 ± 2.0	12.9 ± 1.5	11.5 ± 1.8
<i>Lim</i>	34.1–44.1	34.1–40.9	8.7–15.1	7.9–15.9
<i>Cv</i> , %	7	7	16	22
Минимальная обработка				
$X_{cp} \pm S_x$	35.7 ± 1.6	36.3 ± 2.2	15.9 ± 2.7	13.9 ± 2.5
<i>Lim</i>	31.9–39.6	30.5–40.9	11.1–22.4	7.8–17.7
<i>Cv</i> , %	6	8	23	26
Нулевая обработка				
$X_{cp} \pm S_x$	35.2 ± 3.2	37.0 ± 2.9	12.0 ± 2.3	11.0 ± 1.7
<i>Lim</i>	28.0–42.5	31.0–45.7	8.9–17.7	8.0–15.9
<i>Cv</i> , %	13	11	28	22
$p_{0.05}(X_{cp})$	0.96	0.57	0.03*	0.07

*Отмечены статистически значимые величины с доверительной вероятностью $p_{0.05}$: X_{cp} – среднее, S_x – доверительный интервал, *Lim* – предельные величины, *Cv* – коэффициент варьирования. То же в табл. 2.

держания нитратного азота в этом слое. Приемы минимизации основной обработки почвы обеспечивали перераспределение растительных остатков в пользу верхней части пахотного слоя [12]. Интенсивное взаимодействие рабочих органов дисковых батарей с обрабатываемым пластом при минимальной обработке почвы способствовало измельчению фитомассы, более быстрому ее разложению почвенными микроорганизмами [13], усилению минерализационных процессов и повышению содержания нитратного азота. Ранее установлено, что замена вспашки на минимальную обработку определила тенденцию к снижению запасов подвижного гумуса на 19% на фоне увеличения запасов углерода гумуса в корнеобитаемом слое в агроценозе пшеницы [14].

Особенности пространственного распределения минеральных форм азота в слое 0–20 см агрочернозема отражали степень проявления в пространстве почвенных процессов, ведущих к изменению их содержания. Установлено, что способ основной обработки определил особенности статистического распределения элементов питания в почве (рис. 1). При вспашке большая часть выборки показателя содержания аммонийного азота превышала 40 мг/кг и приближалась к максимуму. Минимальная обработка и нулевой посев пшеницы в 75% выборки имели меньшие величины содержания N-NH₄ (37–38 мг/кг). Усиление вариабельности содержания нитратного азота в пространстве в условиях минимальной техноло-

Таблица 2. Статистические показатели содержания подвижного фосфора и обменного калия в агрочерноземе, мг/кг ($n = 10$)

Показатель	P ₂ O ₅		K ₂ O	
	0–10 см	10–20 см	0–10 см	10–20 см
Отвальная обработка				
$X_{cp} \pm S_x$	432 ± 34	439 ± 34	301 ± 29	317 ± 38
<i>Lim</i>	359–491	357–496	214–344	249–394
<i>Cv</i> , %	11	11	13	17
Минимальная обработка				
$X_{cp} \pm S_x$	412 ± 42	396 ± 51	262 ± 53	206 ± 28
<i>Lim</i>	332–500	278–521	164–402	140–252
<i>Cv</i> , %	14	18	28	19
Нулевая обработка				
$X_{cp} \pm S_x$	411 ± 29	362 ± 25	216 ± 35	144 ± 13
<i>Lim</i>	313–463	298–435	164–309	117–175
<i>Cv</i> , %	10	10	23	12
$P(X_{cp})$	0.55	0.02*	0.04*	0.00*

гии сопровождалось большими отклонениями величин от медианы с симметричностью их распределения. При нулевой обработке 25% объема выборки имело содержание нитратного азота, приближавшееся к минимальной величине (9 мг/кг).

Для нормального роста и развития растений должен быть создан в почве такой уровень содержания фосфатов, чтобы он мог обеспечить высокую интенсивность высвобождения фосфат-ионов из твердой фазы в почвенный раствор. Особенно важен оптимальный уровень содержания подвижного фосфора в ранние фазы развития растений [15]. Обеспеченность агрочерноземов подвижным фосфором в слое 0–20 см была достаточно высокой на всех фонах основной обработки, но постепенно убывала в ряду: отвальная (436 мг/кг) – минимальная (404 мг/кг) – нулевая (386 мг/кг). Сокращение глубины обработки привело к снижению содержания подвижных фосфатов на 32–50 мг/кг (табл. 2). Достоверное уменьшение содержания P₂O₅ отмечено в слое 10–20 см почвы ($p = 0.02$).

Устойчивый характер распределения содержания подвижного фосфора в пространстве отмечен на всех фонах основной обработки почвы ($Cv = 10–18\%$). При прямом посеве пшеницы 75% выборки показателей содержания подвижного фосфора соответствовало средней величине (402 мг/кг) (рис. 2).

Способ обработки почвы оказал существенное влияние на дифференциацию слоев почвы по содержанию подвижных соединений фосфора. Ресурсосберегающие технологии обработки агро-

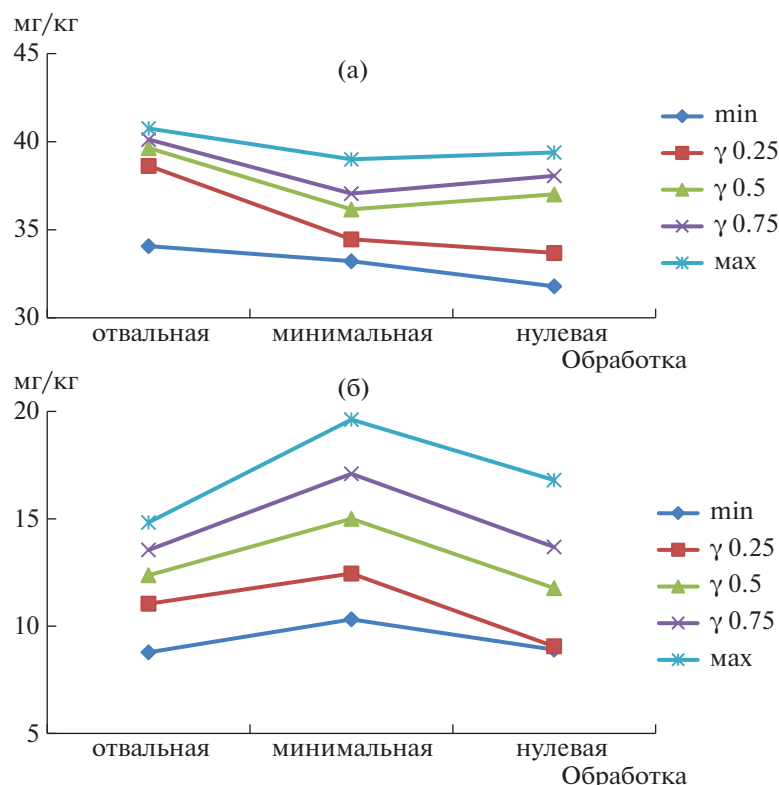


Рис. 1. Квантили статистического распределения содержания аммонийного (а) и нитратного азота (б) в слое 0–20 см агрочернозема.

чернозема способствовали локализации P_2O_5 в слое 0–10 см. Например, на фоне минимальной обработки среднестатистическое содержание подвижного фосфора в слое 0–10 см увеличилось на 16 мг/кг почвы, на нулевом фоне – на 49 мг/кг. Подобная закономерность, касающаяся локализации подвижного фосфора по глубине почвенного профиля в связи с различными видами основной обработки почвы, показана в других исследованиях [16, 17].

Специфика минералогического состава и значительное содержание ила в черноземах Красноярского края является причиной повышенной обеспеченности их валовым калием, что отражается на обеспеченности почв его обменной формой. Агрочерноземы Красноярской лесостепи, обрабатываемые по различным технологиям, аккумулируют значительное количество обменного калия и характеризуются как очень высокообеспеченные. По данным [18], максимальное накопление обменного калия в черноземах региона отмечено в слое 0–20 см. Биогенные процессы, влияние механических обработок почвы, ускоряющих выветривание калиесодержащих минералов, действие удобрений, а также отсутствие подвижности этого элемента в тяжелых по гранулометрическому составу почвах являются причинами накопления K_2O в слое 0–20 см почв. На фоне очень высокой обеспеченности обменным калием агрочерноземов

Красноярской лесостепи отмечалось существенное снижение его содержания ($p = 0.04–0.00$) в условиях применения ресурсосберегающих технологий основной обработки почвы. Среднестатистические данные свидетельствовали о снижении содержания обменного калия в слое 0–20 см, обработанном минимальным и нулевым способами (на 74–128 мг/кг соответственно) по сравнению со вспашкой. Исследованиями [19] доказано снижение содержания подвижного фосфора и обменного калия в слое 0–30 см при дисковании почвы.

Содержание обменного калия является варьирующим показателем в пространстве. Способ основной обработки почвы в большей степени определил неоднородность слоя 0–10 см агрочернозема. В начале вегетации пшеницы пространственная неоднородность содержания K_2O достигала 23–28% при применении ресурсосберегающих технологий основной обработки почвы. В условиях вспашки распределение обменного калия в пространстве было незначительным ($C_v = 13\%$). Пространственное распределение содержания обменного калия при минимизации обработки сопровождалось увеличением доли выборки, приближающейся к минимальным величинам (141–182 мг K_2O /кг). Локализация K_2O в слое 0–10 см почвы на фоне применения ресурсосберегающих технологий основной обработки

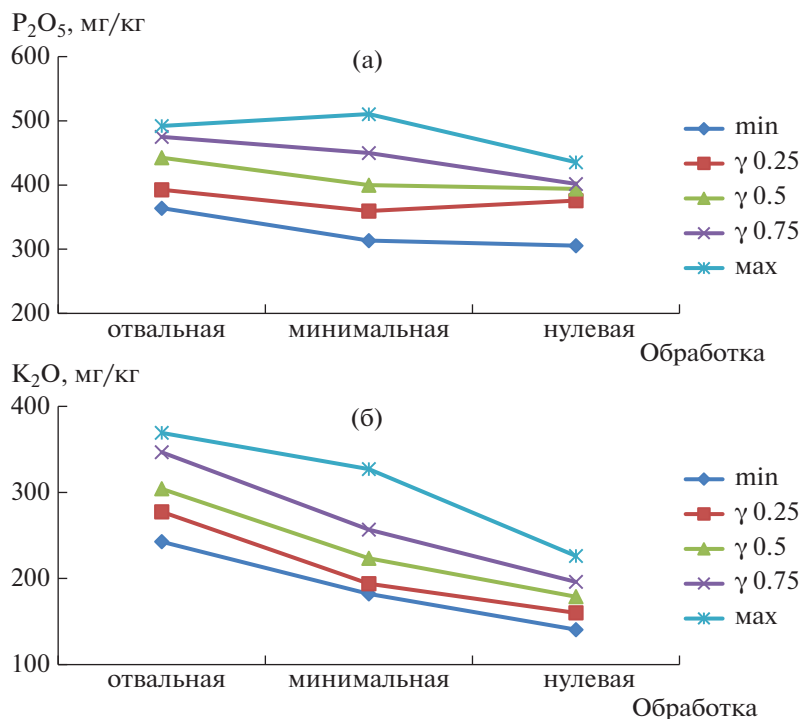


Рис. 2. Квантили статистического распределения содержания подвижного фосфора (а) и обменного калия (б) в слое 0–20 см агрочернозема.

сопровождалась увеличением содержания подвижного элемента калия на 72–56 мг/кг по сравнению со слоем 10–20 см. Подобная закономерность обусловлена разной глубиной заделки пожнивных остатков по сравнению со вспашкой. Исследованиями [20] доказано влияние приемов обработки почвы на распределение доступных элементов минерального питания по профилю почвы. При ежегодной вспашке на 20 см наибольшее содержание доступного фосфора и обменного калия отмечали в слое 0–20 см. При безотвальных обработках основное количество подвижных фосфора и калия аккумулируется в поверхностном слое 0–10 см, что ухудшает их использование растениями при иссушении верхнего слоя, даже при непродолжительном отсутствии дождей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Кратковременное применение ресурсосберегающих технологий основной обработки под яровую пшеницу на агрочерноземах Красноярской лесостепи определяло содержание и особенности статистического распределения подвижных элементов питания в пространстве. Результаты проведенного исследования свидетельствовали о том, что способы основной обработки не оказали существенного влияния на содержание аммонийного азота (35–40 мг/кг) и дифференциацию слоя 0–20 см почвы по этому показателю, но определили особенности пространственного распре-

ления содержания $N-NH_4$. В условиях вспашки большая часть выборки величин содержания аммонийного азота в агрочерноземе в начале вегетации пшеницы превышала 40 мг/кг и приближалась к максимальным показателям. Перераспределение растительных остатков в пользу верхней части пахотного слоя в условиях минимальной обработки способствовало повышенному содержанию нитратного азота в слое 0–10 см (16 мг/кг, $p = 0.03$). В слое 10–20 см содержание $N-NO_3$ убывало в ряду обработок: минимальная (14 мг/кг) – отвальная (12 мг/кг) – нулевая (11 мг/кг). При применении нулевой обработки (прямого посева пшеницы) 25% объема выборки имели показатели, приближавшиеся к минимальной величине. Высокая обеспеченность подвижным фосфором агрочерноземов с устойчивым характером распределения в пространстве сопровождалась потерями элемента питания на 32–50 мг/кг в условиях ресурсосберегающих технологий основной обработки с локализацией его в слое 0–10 см почвы. Подобная закономерность выявлена и в отношении обменного калия. Ресурсосберегающие технологии основной обработки почвы определили снижение содержания обменного калия на 74–128 мг/кг по сравнению со вспашкой. Пространственное распределение обменного калия на фоне минимальной обработки сопровождалось уве-

личением доли выборки, приближавшейся к минимальным показателям (141–182 мг К₂О/кг).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бугаков П.С. Из опыта статистической обработки результатов массовых анализов. Новосибирск: СО АН СССР, 1964. С. 254–284.
2. Булакова Л.М. Плодородие алтайских черноземов в системе агроценоза. Новосибирск, 1984. 199 с.
3. Михеева И.В. Вероятностно-статистические модели свойств почв. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. 197 с.
4. Сидорова В.А. Динамика пространственного варьирования почвенных свойств луговых агроценозов Карелии при постагрогенном развитии // Рос. журн. прикл. экол. 2016. № 3. С. 23–27.
5. Шарков И.Н. Минерализация и баланс органического вещества в почвах агроценозов Западной Сибири: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск, 1997. 90 с.
6. Перфильев Н.В., Вьюшина О.А., Скипин Л.Н. Влияние минимизации обработки на плодородие темно-серой лесной почвы в северном Зауралье // Изв. ОренбургГАУ. 2015. № 6. С. 43–47.
7. Данилов А.Н., Летучий А.В., Шагиев Б.З. Влияние удобрений и обработки почвы на элементы плодородия и урожайность яровой пшеницы на черноземах Поволжья // Нива Поволжья. 2015. № 3. С. 46–53.
8. Синещев В.Е., Ткаченко Г.И. Влияние минимизации основной обработки почвы на азотный режим чернозема выщелоченного и продуктивность яровой пшеницы в зернопаровом севообороте // Агрохимия. 2016. № 1. С. 59–64.
9. Прохорова З.А., Фрид А.С. Изучение и моделирование плодородия почв на базе длительного полевого опыта. М.: Наука, 1993. 189 с.
10. Дмитриев Е.А. Математическая статистика в почвоведении. М.: Изд-во МГУ, 1995. 319 с.
11. Попова Э.П., Лубите Я.И. Биологическая активность и азотный режим почв Красноярской лесостепи. Красноярск, 1975. 271 с.
12. Шарков И.Н., Данилова А.А. Влияние агротехнических приемов на изменение содержания гумуса в пахотных почвах // Агрохимия. 2010. № 12. С. 72–81.
13. Ambus P., Jensen E.S. Nitrogen mineralization and denitrification as influenced by crop residue particle size // Plant and Soil. 1997. V. 197. P. 261–270.
14. Кураченко Н.Л., Колесник А.А. Структура и запасы гумусовых веществ агрочернозема в условиях основной обработки почвы // Вестн. КрасГАУ. 2017. № 9. С. 149–157.
15. Иванов А.Л., Сычев В.Г., Державин Л.М., Карпунин А.И., Карпова Д.В. Комплекс технологических, агрохимических и биологических воздействий на фосфатный режим почв и продуктивность земледелия // Плодородие. 2009. № 1. С. 4–9.
16. Воронин А.Н. Влияние различных систем земледелия на динамику содержания подвижного фосфора в черноземе типичном // Агрохимия. 2014. № 5. С. 32–37.
17. Бутяйкин В.В., Чаткин М.Н. Влияние способов основной обработки и минеральных удобрений на урожай, качество зерна озимой пшеницы // Вестн. АлтайГАУ. 2014. № 7. С. 38–41.
18. Бугаков П.С., Горбачева С.М., Чупрова В.В. Почвы Красноярского края. Красноярск, 1981. 127 с.
19. Цирюлик А.И., Шапка В.П. Влияние мульчирующей обработки почвы на питательный режим чернозема в посевах ячменя ярового // Вестн. Прикаспия. 2017. № 3. С. 31–42.
20. Турусов В.И., Новичихин А.М. Обработка черноземов: опыт и тенденции развития // Земледелие. 2012. № 4. С. 7–9.

Content and Spatial Distribution of Agrochemical Significant of the Agrochernozems in the Conditions of Main Processing of the Soil

N. L. Kurachenko^{a,*} and A. A. Kolesnik^a

^a Krasnoyarsk State Agrarian University
prosp. Mira 90, Krasnoyarsk 660049, Russia

*E-mail: kurachenko@mail.ru

In the field experiment the influence of methods of processing agrochernozem on the content and spatial distribution of mobile elements is established. It was shown that minimal tillage led to an increase in the content of nitrate nitrogen in the 0–20 cm layer (15 mg/kg), an increase in the spatial heterogeneity of the parameter ($C_v = 25\%$) with the symmetry of its distribution. Resource-saving technologies of the main processing determined a decrease in the content of mobile phosphorus by 32–50, exchange potassium by 74–128 mg/kg compared with plowing and the localization of nutrients in the 0–10 cm layer with increased variability of indicators to 23–28%. In the application of No-Till technology seeding of wheat affected the spatial distribution of ammonium nitrogen and exchangeable potassium, increasing the volume of samples approaching the minimum value.

Key words: agrochernozem, minimization of the main tillage, ammonium nitrogen, nitrate nitrogen, mobile phosphorus, exchangeable potassium, spatial heterogeneity.