УДК 631.4

ИЗМЕНЕНИЕ КРИСТАЛЛОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МИНЕРАЛОВ ТОНКОДИСПЕРСНОЙ ЧАСТИ АГРОСЕРЫХ ТЯЖЕЛОСУГЛИНИСТЫХ ПОЧВ РЯЗАНСКОЙ ОБЛАСТИ ПОД ВЛИЯНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ АГРОТЕХНОЛОГИЙ

Н. П. Чижикова[1], Р. Н. Ушаков[2]

[1] Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАСХН

[2]Рязанская государственная сельскохозяйственная академия

Неоднократно отмечалось изменение свойств почв под влиянием веществ удобрений и мелиорантов (Минеев, 1990; Шишов и др., 1991; Прокашев, Дерюгин, 2000; Панов и др., 2003 и др.). Исследования кристаллохимических показателей минералов почв полей опытных станций России с датированной историей полей и характером землепользования (Чижикова, 1990, 1992, 1994, 1998, 2002, 2003, 2005) свидетельствуют о существенном преобразовании этих показателей. Установлено, что наиболее сильное влияние на минералы оказывает изменение реакции среды, особенно в сторону подкисления. Именно подкисление активизирует процессы деструкции минералов. Происходит разрушение наименее устойчивых, но, как правило, содержащих наибольшее количество элементов питания, минералов. Показано, что нейтрализация почв мелиорантами через любой промежуток времени после прошедшего подкисления не приводит к изначальному функционированию почв, поскольку нельзя восстановить исходную кристаллохимическую основу минералов. Прошедшая реакция разрушения минералов необратима (Чижикова, Прищеп, 1996; Чижикова, 2003). Большинство исследований проведено на дерново-подзолистых почвах и черноземах. Поведение же минералов в серых почвах под влиянием внесенных веществ изучалось лишь на Ровенской (Чижикова, 1992) и Брянской сельскохозяйственных станциях (Прищеп, Чижикова, 1997). Установлено, что внесение повышенных доз минеральных удобрений привело к снижению содержания смешанослойных образований, как за счет их разрушения, так и по причине активизации агродационных процессов при фиксации калия из вносимых удобрений. Происходит механическая дезинтеграция слоистых силикатов более крупных, чем илистая, фракций и ее пополнение этими продуктами. Илистые фракции пополняются более устойчивыми к выветриванию минералами, но с большим количеством инертных компонентов, таких, как кварц и диоктаэдрические слюды.

Минералогический состав серых лесных почв в Рязанской обл. не исследован, не выяснено влияние различных систем земледелия, наиболее широко применяемых на этих землях, на содержание элементов питания растений.

Целью данной работы является определение влияния широко используемых систем земледелия в Рязанской обл. на минералого-кристаллохимические показатели агросерых тяжелосуглинистых почв для прогнозов и предотвращения истощения почвенного плодородия. Для достижения поставленной цели были проведены исследования минералогического состава фракции < 1, 1–5, 5–10 мкм, выделенных из серой и агросерых тяжелосуглинистых почв опытных полей Рязанской государственной сельскохозяйственной академии.

Мы исследовали некоторые из многочисленных вариантов опытов систем земледелия. Материалы опубликованы в монографии Ильиной (1997) и в докторской диссертации Костина (2001).

Объектами исследований являются серые, агросерые тяжелосуглинистые почвы опытных делянок Рязанской государственной сельскохозяйственной академии. Образцы почв отобраны из пахотного (0–20 см) и подпахотного (20–30 см) слоев следующих вариантов полевого многолетнего стационарного опыта №1 кафедры агрохимии и почвоведения (регистрационный номер 02.11.61.405.01), заложенного в 1962 г. по методике ВИУА, и полевого многолетнего стационарного опыта кафедры земледелия, заложенного в 1970 г.:

вариант 1 – без удобрений (40-летий опыт по изучению 4-х польного севооборота картофель–ячмень–однолетние травы–яровая пшеница);

вариант 2 – с применением минеральных удобрений (исследовалось влияния хлористого аммония, простого суперфосфата, хлористого калия на свойства и состав почв). Фосфорные и калийные удобрения вносили поделяночно вручную под основную обработку. Азотные удобрения под предпосевную;

вариант 3 – анализ высокоокультуренной почвы (изучалось влияние 5-ти польного севооборота картофель–ячмень–овес–однолетние травы–озимая пшеница, который широко используется в хозяйствах Рязанской обл.). Высокий уровень окультуренности достигнут за счет внесения 40 т/га навоза под картофель в среднем за севооборот и ежегодное внесение N94P96K84.

Выделение тонкодисперсных фракций (< 1, 1–5, 5–10 мкм) проведено методом седиментации частиц по Н.И. Горбунову. Минералогический состав в выделенных фракциях определяли рентген-дифрактометрическим методом с помощью универсального рентген-дифрактометра XZG-4A фирмы Карл Цейсс (Йена, Германия). Режим работы аппаратуры: напряжение на трубке 30 kV, анодный ток – 30 мА. Рентгеносъемка проведена с ориентированных препаратов. Соотношение основных минеральных фаз во фракции < 1 мкм рассчитано по методике Бискайя (Biskaye, 1965). Во фракциях 1–5 и 5–10 мкм определяли количество минералов по методу Кука с соавт. (Cook et al., 1972).

В соответствии с исследованиями Я.В. Костина (2001) в первые 10 лет внесения азотных удобрений произошли заметные изменения в составе ППК исследуемой почвы. Перед закладкой опыта гидролитическая кислотность, обменная кислотность, сумма обменных оснований, степень насыщенности основаниями были в горизонте 0–20 см соответственно – 3,24 мг-экв/100 г почвы, 5,57; 19,0 мг-экв/100 г почвы и 85%. Через 10 лет эти показатели составили 3,8–3,9 мг-экв/100 г почвы, 5,25–5,35; 18,2–18,5 мг-экв/100 г почвы и 82%. Отмечалось подкисление пахотного горизонта, которое сохранялось на протяжении 40 лет.

В настоящий момент используемые в исследовании пахотные, подпахотные горизонты обладают следующими агрохимическими показателями (табл. 1). Наибольшее количество гумуса отмечается в агросерой высокоокультуренной почве. На делянках, где применялись минеральные удобрения, повысилась кислотность на 1 единицу. В агросерой высокоокультуренной резко увеличено количество подвижных форм фосфора и калия.

Несмотря на разносторонние и комплексные исследования, в упомянутых работах А.В. Ильиной (1997) и Я.В. Костина (2001) не затронуты фундаментальные показатели минералогического состава используемых почв, и их изменение при агротехногенных нагрузках.

Таблица 1. Агрохимические показатели почв полей Рязанской ГСХА

Глубина образца, см	Повторность	Гумус, %	pH $_{KCl}$	P_2O_5	K_2O
				по Кирсанову, мг/100 г	
Агросерая почва без удобрений					
0–20	1	2,28	5,5	7,3	11,9
	2	2,06	5,5	7,8	9,0
20–30	1	2,06	5,6	5,5	7,7
	2	2,06	5,7	4,9	7,5
Агросерая почва с удобрениями					
0–20	1	2,28	4,2	26,1	23,3
	2	2,39	4,2	25,0	21,9
20–30	1	2,00	5,3	19,0	19,7
	2	2,10	5,2	18,7	20,3
Агросерая высокоокультуренная почва					
0–20	1	2,94	6,0	32,0	24,1
	2	3,00	6,1	29,9	25,1
20–30	1	2,61	6,0	20,0	20,2
	2	2,82	5,9	19,7	19,7
Серая почва под лесом					
0–20	–	3,15	4,7	17,7	19,0

В то же время анализ поведения минералогического состава тонкодисперсных (<1, 1–5, 5–10) фракций позволяет спрогнозировать процесс истощения естественных источников питания растений, заключенных в минералах, раскрывает механизм обеспеченности этих почв калием и его реакции при агротехногенном воздействии, взаимодействия глинистых минералов с фосфором внесенных удобрений.

Пахотные и подпахотные горизонты исследуемых нами агросерых, серых почв опытных полей РГСХА содержат илистую фракцию, количество которой составляет в среднем 23,3% (18,6–27,3%) в пахотных горизонтах и в пределах 23,8% в подпахотных (20,3–26,8%), т. е. отмечается некоторая тенденция более высокого содержания илистой фракции в подпахотных горизонтах. Сравнение этого показателя (табл. 2) в пахотных горизонтах различных вариантов опыта свидетельствует о более высоких (27%) значениях содержания ила в почве варианта, где вносился хлористый аммоний. Факт увеличения выхода илистой фракции из почвы при внесении такого сильного диспергатора, каковым является аммонийный радикал, вполне закономерен. В варианте высокоокультуренной почвы выход ила минимален, что также можно объяснить коагулирующим действием органического вещества, которое вносилось в почву. Верхний горизонт почвы под лесом также характеризуется наименьшими значениями по этому показателю (17,5–18,5%).

Минералогический состав фракции менее 1 мкм, выделенной из пахотных и подпахотных горизонтов агросерой почвы, представлен гидрослюдами дитриоктаэдрического типа (52,8–65,6%), каолинитом (10,4–16,4%) и сложными неупорядоченными смешанослойными образованиями с низким содержанием смектитовых пакетов, далее идет смектит (28,2–35,4%). В ряде горизонтов отмечается присутствие хлорита. Соотношение этих минеральных фаз меняется в двух направлениях. В подпахотных горизонтах количество смешанослойных минералов со смектитовым пакетом несколько выше, чем в илистом веществе пахотных горизонтов. Более того, произошло изменение в типе слюда-смектитов, т.е. появилось образование с высоким содержанием смектитовых пакетов.

В пахотных горизонтах содержание смектита наименьшее в варианте, где внесены минеральные удобрения. В этом же варианте отмечаются наибольшие показатели по количеству гидрослюд. Подобную закономерность можно объяснить необменной фиксацией калийного и аммонийного катионов смектитовыми пакетами смешанослойных образований.

В результате калийной и аммонийной контрактаций фиксируется сжатие решетки минерала и переход в слюдоподобную структуру (рис. 1). Ранее подобный механизм контрактации иона аммония в почвах был рассмотрен в модельном эксперименте с меченным аммонием N^{15} (Королева и др., 1988). Зафиксировано сокращение решетки смешанослойного слюда-смектитового образования с 14 до 12 Å при контрактации аммония межслоями смешанослойных образований.

Таблица 2. Соотношение основных минеральных фаз фракций < 1 мкм, выделенных из агросерой суглинистой почвы (Рязанская ГСХА)

Глубина, см	Повторность	Фракция <1мкм, %	Каолинит + хлорит	Гидрослюда	Смешанослойные образования	Каолинит + хлорит	Гидрослюда	Смешанослойные образования	Наличие кварца
			% во фракции ила			% в почве в целом			
Агросерая почва без удобрений									
0–20	1	24,7	13,8	60,8	24,4	2,8	15,0	6,0	++
	2	24,2	15,6	59,9	24,4	3,8	14,5	5,8	++
20–30	1	26,8	14,0	53,0	33,0	3,8	14,2	8,8	++
	2	26,8	11,7	52,9	35,9	3,2	14,2	9,2	++
Агросерая почва с удобрениями									
0–20	1	27,1	12,0	65,6	22,4	3,3	17,9	6,1	++
	2	23,6	14,9	62,0	23,1	3,5	14,6	5,5	++
20–30	1	22,6	14,0	62,0	24,0	3,2	14,1	5,5	+
	2	24,1	10,4	62,3	27,3	2,5	15,0	6,5	+
Агросерая высокоокультуренная почва									
0–20	1	19,7	12,4	62,8	24,8	2,4	12,4	4,9	+
	2	18,6	15,3	62,4	22,2	2,8	11,5	4,1	+
20–30	1	20,2	11,5	55,4	33,1	2,3	11,1	6,6	-
	2	22,6	12,7	58,3	29,0	2,9	13,2	6,6	-
Серая почва под лесом									
0–20	1	18,5	16,4	58,3	25,3	3,0	10,8	4,7	++
	2	17,5	12,5	63,8	23,6	2,2	11,2	4,1	++
20–30	1	22,6	17,3	55,2	27,4	3,9	12,5	6,2	-

Отмеченные тенденции изменения таких важных показателей, как содержание илистой фракции, а в ней смектитовой фазы и гидрослюд, позволяют констатировать следующие процессы: 1 – деструкцию минералов под влиянием кислотного гидролиза при подкислении реакции среды (табл. 1) при внесении агрессивных минеральных удобрений; 2 – активизацию процессов трансформационных преобразований минералов под влиянием агротехногенных процессов; 3 – процесс механической дезинтеграции минералов фракции > 1 мкм в пахотных горизонтах при техногенных нагрузках.

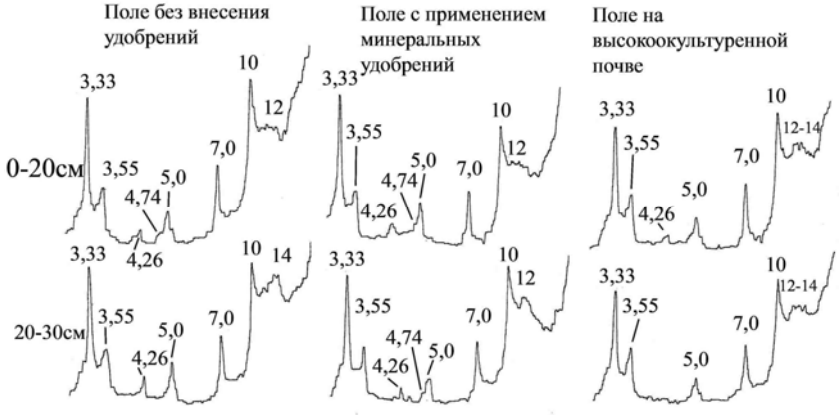

Рис. 1. Рентген-дифрактограммы фракции менее 1 мкм, выделенной из пахотных (0–20 см) и подпахотных (20–40 см) слоев агросерой тяжелосуглинистой почвы (межплоскостные расстояния, Å).

В ряде горизонтов агросерых почв отмечается наличие тонкодисперсного кварца. В первую очередь этот показатель установлен в пахотных горизонтах агросерой – вариант без удобрений и с удобрениями. В подпахотных горизонтах содержание кварца меньше.

Содержание фракции тонкой пыли в пахотных, подпахотных горизонтах колеблется от 7,1 до 11,6% (табл. 3). Характер распределения фракции в этих горизонтах меняется. В почве варианта без удобрений отмечается ее наибольшее количество в пахотных горизонтах.

В варианте с удобрениями эта закономерность меняется – в верхних горизонтах этот показатель минимальный. В варианте с высокоокультуренной почвой различия в пахотном и подпахотном горизонтах по содержанию фракции 1–5 мкм изменяется минимально – 9,6–11,2%. В верхнем горизонте серой почвы под лесом содержания фракции 1–5 мкм достигает 14,2%, т.е. наибольшее из всех рассмотренных вариантов опытов с агросерыми почвами.

Минералогический состав тонкопылеватых фракций (1–5 мкм) поликомпонентен и существенно отличается от такового илистой фракции (рис. 2). Здесь полностью отсутствуют смешанослойные образования и диагностированы кварц (27–35%) и слюды (22–37%) в основном триоктаэдрического типа, калиевые полевые шпаты (13–19%), плагиоклазы (9–16%). В качестве небольшой примеси (4–8%) обнаружены каолинит, в ряде образцов – хлорит. Содержание этих минералов и их кристаллохимия несколько меняются в пахотных-подпахотных слоях, а также в зависимости от типа воздействия в пахотных горизонтах.

Таблица 3. Состав минералов фракции 1–5 мкм, выделенной из агросерой тяжелосуглинистой почвы Рязанской ГСХА

Глубина образца, см	Повторность	Фракция 1-5 мкм, %	Кварц	Слюда	Каолинит	Хлорит	К-полевые шпаты	Плагиоклазы	10Å/5Å
Агросерая почва без удобрения									
0–20	1	11,0	34	27	5	3	17	14	1,8
	2	9,7	30	34	5	4	15	12	1,9
20–30	1	7,1	27	37	8	4	14	10	1,7
	2	8,3	29	32	6	3	17	13	1,7
Агросерая почва с удобрениями									
0–20	1	7,5	35	22	4	0	19	16	1,4
	2	9,0	31	31	5	0	15	14	2,3
20–30	1	11,6	31	34	5	4	16	10	1,9
	2	9,8	29	38	5	3	16	9	2,6
Агросерая высокоокультуренная почва									
0–20	1	9,9	32	31	5	0	17	15	3,1
	2	11,2	30	37	5	0	17	15	2,2
20–30	1	10,1	31	31	4	0	18	16	2,0
	2	9,6	31	34	6	0	17	12	2,1
Серая почва под лесом									
0–20	–	14,2	39	31	6	0	13	11	2,1

В вариантах опыта без удобрений и с удобрениями отмечается наименьшее количество слюд в пахотных горизонтах. Можно предположить, что в этих вариантах опыта слюды, являющейся источником калийного питания, разрушаются в первую очередь.

Это предположение правомочно, поскольку механизм дробления из более крупных фракций слюд в пылеватую при механической дезинтеграции частиц на всех вариантах опыта одинаков, поскольку активизируется при техногенных нагрузках. В пылеватой фракции, выделенной из серой почвы под лесом, количество слюд превышает содержание их в агропочвах указанных вариантов. Необходимо отметить еще одну закономерность – изменяется соотношение ди- и триоктаэдрических разностей слюд в различных вариантах опыта: в варианте без удобрения этот показатель ниже

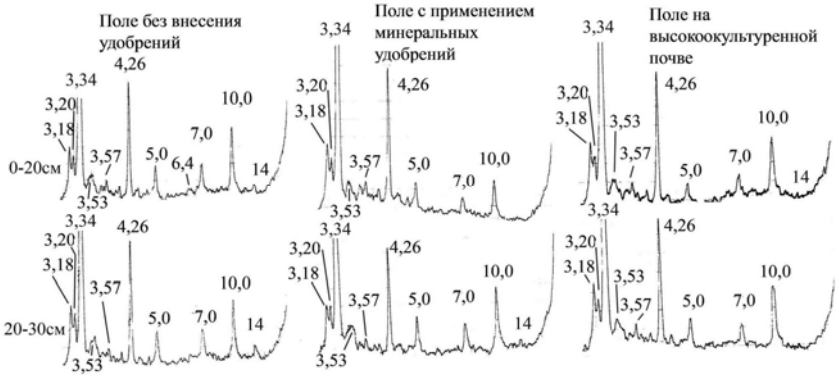

Рис. 2. Рентген-дифрактограммы фракции 1─5 мкм, выделенной из пахотных (0–20 см) и подпахотных (20–40 см) слоев агросерой тяжелосуглинистой почвы.

двух, в варианте с удобрениями он колеблется в пределах двух, а в варианте высокоокультуренной почвы он выше двух. Показатель отношения интенсивности рефлекса 001 гидрослюды к интенсивности рефлекса 002 этого минерала является диагностическим для выявления соотношения биотитовых структур к диоктаэдрическим-мусковитовым. Увеличение количества диоктаэдрических структур свидетельствует о том, что остаются консервативные слюды, более устойчивые к процессам почвообразования и с трудом отдающие калий.

В вариантах с высокоокультуренной почвой и в варианте с удобрениями исчезает хлорит. Вероятно, подкисление при использовании удобрений приводит к деструкции хлорита. Необходимо также обратить внимание на поведение тонкопылеватого кварца. В пахотных горизонтах всех вариантов опыта количество кварца выше, чем в подпахотных, кроме высокоокультуренного варианта, где этот показатель одинаков в пределах рассматриваемых слоев. Наибольшие различия в содержании кварца отмечаются в пахотных и подпахотных горизонтах в вариантах с удобрениями. Рассмотренный выше характер распределения минералов тонкопылеватых фракций позволяет констатировать следующие процессы: разрушение малоустойчивых к выветриванию – почвообразованию – минералов типа хлорита и триоктаэдрических слюд, которые являются источниками ряда элементов питания растений. В пахотных горизонтах активизируются процессы механической дезинтеграции калиевых полевых шпатов и плагиоклазов; относительно накапливается тонкопылеватый кварц.

Минералогический состав фракции средней пыли (5–10 мкм, табл. 4) представлен кварцем (33,3–46,7%), калиевыми полевыми шпатами (15,5–26,3%), плагиоклазами (14,4–22,3%), дитриоэктадрическими слюдами (10,7–18,6%), каолинитом (1,6–5,5%). Количество фракций средней пыли в

Таблица 4. Состав минералов фракции 5-10 мкм, выделенной из агросерой суглинистой почвы опытных делянок Рязанской ГСХА

Глубина образца, см	Повторность	Фракция 5-10 мкм, %	Кварц	Слюда	Каолинит	Хлорит	К-полевые шпаты	Плагиоклазы
Агросерая почва без удобрения								
0–20	1	7,2	44,0	16,8	3,1	4,6	17,1	14,4
	2	7,5	45,3	16,8	2,1	4,3	17,0	14,5
20–30	1	6,6	46,2	16,8	2,6	2,3	17,1	15,0
	2	7,0	46,7	14,6	1,6	4,8	16,7	15,7
Агросерая почва с удобрениями								
0–20	1	6,0	45,0	16,3	2,5	4,4	16,5	15,2
	2	6,8	43,7	14,6	2,4	2,2	21,0	16,1
20–30	1	4,8	35,7	16,5	2,8	6,3	19,7	19,0
	2	5,9	37,9	18,5	2,4	6,1	18,0	17,0
Агросерая высокоокультуренная почва								
0–20	1	9,4	39,4	16,2	5,5	4,4	15,5	18,9
	2	9,7	40,7	15,0	4,0	3,1	17,5	16,9
20–30	1	9,6	40,5	11,4	2,9	3,1	17,2	13,6
	2	9,7	45,0	10,7	2,2	2,9	21,3	17,8
Серая почва под лесом								
0–20	–	7,3	33,3	12,2	1,9	4,1	23,3	22,3

пахотных, подпахотных слоях колеблется в значительно меньших интервалах, чем фракция <1 и 1-5 мкм, т.е. 4,8 и 9,8%. В верхнем горизонте серой почвы под лесом количество средней пыли равно 7,3%. Аналогичные показатели зафиксированы в почве без удобрений (6,6–7,5%). Количество средней пыли в почве варианта с удобрениями минимально (4,8–6,8%). В высокоокультуренном варианте этот показателен максимален (9,4–9,7%). Колебания содержания минералов средней пыли в пахотных и подпахотных горизонтах незначительны.

Содержание слюд в пахотных горизонтах колеблется от 14,6 до 16,8%. Минералы среднепылеватой фракции в меньшей мере изменяются под воздействием агротехногенных факторов. В варианте с удобрениями наблюдается лишь слабая тенденция увеличения количества кварца в пахотном слое. В этой фракции стабильно выявляется хлорит.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования минералогического состава фракций < 1, 1–5, 5–10 мкм агросерых тяжелосуглинистых почв опытной станции Рязанской государственной сельскохозяйственной академии позволяют констатировать довольно типичную картину соотношения минеральных компонентов для пахотных горизонтов почв длительного землепользования. Преобладают гидрослюды, в меньшем количестве содержатся слюда-смектит с низким (<50%) содержанием смектитовых пакетов. Дополняют эти слоистые силикаты, каолинит, хлорит и тонкодисперсный кварц.

Отмечается четкое различие в содержании доминирующих минералов пахотных и подпахотных горизонтов, а также между вариантами опытов, что свидетельствует о влиянии агрогенного воздействия на их поведение. В какой-то мере однотипность агротехногенного влияния на пахотные горизонты снижают зональные различия в характере соотношения основных минеральных фаз. Происходит конвергенция илистого вещества пахотных горизонтов агрогенно-преобразованных почв.

В тонкопылеватой фракции доминируют слюды и кварц, характер распределения которых и кристаллохимия первых также свидетельствуют о реакции минералов этой фракции на характер техногенного воздействия. В меньшей мере последнее оказывает влияние на фракцию средней пыли, в которой преобладает кварц и калиевые полевые шпаты.

Процессы преобразования минералов различаются в соответствии с размерностью минералов, их кристаллохимическими особенностями. В первую очередь изменяются смешанослойные образования, в преобразовании которых задействованы процессы разрушения и контрактации веществ вносимых удобрений. Отмечаются трансформационные преобразования, следствием которых являются снижение количества смектитовой фазы, разрушаются триоктаэдрические гидрослюды и хлорит в илистых фракциях и во фракции тонкой пыли. Для пылеватых фракций характерен процесс механической дезинтеграции слоистых силикатов и частичное разрушение полевых шпатов.

По поведению минералов исследуемых фракций можно заключить, что наиболее рациональной с позиции сохранения естественного плодородия является система обработки, создающая высокоокультуренную почву, т.е. внесение 40 т/га навоза под картофель в среднем за севооборот и ежегодное удобрение состава N94P96K84.

Поскольку минералы тонкодисперсных фракций почв представляет собой невосполнимый источник естественного питания и корнеобитания растений, для предотвращения негативных трансформаций минералого-кристаллохимических показателей необходим постоянный мониторинг кислотного состояния пахотных слоев почв. Желательно экспериментальное наблюдение за пептизируемостью почвенной массы под влиянием

удобрений с аммонийным радикалом. Отсутствие последнего может привести к активизации процессов текстурной дифференциации тонкодисперсных компонентов по профилю.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Градусов Б.П., Чижикова Н.П., Плакхина Д.М. Блок петрографо-минералогических показателей почвенного плодородия // Расширенное воспроизводство плодородия почв в интенсивном земледелии: Науч. тр. Почв. ин-та. М., 1988. С. 117–124.

Ильина Л.В. Комплексное воспроизводство плодородия серых лесных почв и его эффективность. Рязань: Узоречье, 1997. 231 с.

Королева И.Е., Чижикова Н.П., Лебедева М.Ю., Середкина Н.И. Влияние гранулометрического и минералогического состава дерново-подзолистой почвы на фиксацию азота удобрений // Почвоведение. 1988. №10. С. 1217–1224.

Костин Я.В. Динамика изменения плодородия и продуктивности серых лесных почв при длительном применении разных форм минеральных удобрений: Автореф. дис. … д. с.-х. н. Немчиновка, 2001. 46 с.

Минеев В.Г. Химизация земледелия и природная среда. М.: Агропромиздат, 1990. 287 с.

Панов И.П., Савич В.И., Амергужин Х.А., Байбеков Р.Ф., Банников В.И. // Вест. РАСХН. №6. 2003. С. 28–30.

Прищеп Н.И., Чижикова Н.П. Влияние различных доз и форм калийных удобрений на минералогический состав и калийное состояние серых лесных почв // Междун. конф. «Проблемы антропогенного почвообразования». М.: Почв. Ин-т им. В.В. Докучаева, 1997. Т. 1. С.153–156.

Прокошев В.В. Дерюгин И.П. Калий и калийные удобрения. М.: Ледум, 2000. 184 с.

Чижикова Н.П. Изменение состава и свойств тонкодисперсных минералов дерново-подзолистых почв под влиянием удобрений // Вест. с.-х. науки. 1990. С. 128–132.

Чижикова Н.П. Преобразование минералогического состава почв в процессе агрогенеза: Автореф. дис. … д. с.-х. н. М., 1992. 43 с.

Чижикова Н.П. Агротехногенное преобразование минералогического состава дерново-подзолистых почв // Почвоведение. 1994. №4. С. 85–91.

Чижикова Н.П. Необратимые изменения минералогического состава почв и проблемы их устойчивости к антропогенным воздействиям // Экология почвы: избранные лекции I-VII. Т.1. Пущино, 1998. С. 65–74.

Чижикова Н.П. Изменение минералогического состава тонких фракций почв под влиянием агротехногенеза // Почвоведение. № 7. 2002. С. 867–875.

Чижикова Н.П. Необратимость эволюции петрографо-минералогической компоненты почв при антропогенном воздействии // Мат-лы 4-ой Все-

российской конференции «Проблемы эволюции почв». Пущино, 2003. С. 216–221.

Чижикова Н.П. Проблема плодородия почв с позиции трансформации их минералогического состава // Российский химический журнал. Т. XLIX. № 3. 2005. С. 44–48.

Чижикова Н.П. Прищеп Н.П. Изменение содержания тонкодисперсных фракций и их минералов под влиянием калийных удобрений // Докл. РАСХН. 1996. №3. С. 20–21.

Чижикова Н.П., Градусов Б.П. Илисто-минералогические показатели почв в моделях их плодородия // Почвенное плодородие: информация, системы, модели, методы исследования: Науч. тр. М.: Почвенный институт им В.В. Докучаева, 1991. С. 86–98.

Шишов Л.Л. Дурманов Д.Н., Карманов И.И., Ефремов В.В. Теоретические основы и пути регулирования плодородия почв. М.: Агропромиздат, 1991. 304 с.

Biskaye P.E. Mineralogy and sedimentation of deep-sea clay in the Atlantic Ocean and adjacent seas and oceans // Geol. Sox. Am. Buoll. V. 76. 1965. P. 803-832.

Cook H.E., Johnson P.D., Matti J.G., Zemmels J. Metheods of samples preparation and X-ray diffraction data analysis // Deep Sea Drilling Project. X-ray Mineralogy laboratory. Institute of Geophysics and Planetary Physics. Universide, 1972. Contribution No 74-5. P. 990–1007.