

Presented the results of studies on the composition and connection forms of humic substances in the most typical soils of dry and humid subtropical part of southeastern Azerbaijan. Study revealed that composition and properties of humus fractions depends on bioclimatic decomposition conditions and high-altitude gradients (vertical zoning). The optical density of humic acids was used as an indicator of the differences in acids composition.

Keywords: serozem, meadow-serozem soils, yellow-podzolic soil, chemical composition of humus, humic and fulvic acids.

УДК 631.42:631.82/.83:631.445.4

МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЙ СОСТАВ ТОНКОДИСПЕРСНЫХ ФРАКЦИЙ И РЕЗЕРВЫ КАЛИЯ В ЧЕРНОЗЕМЕ ПРИ ВНЕСЕНИИ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

Н.Н. Шаповалова^{1*}, Н.П. Чижикова², д.с.-х.н., Е.И. Годунова¹, д.с.-х.н., И.Г. Сторчак¹, к.с.-х.н.
¹ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ», Россия, 356241, Ставропольский край,
Шпаковский район, г. Михайловск, ул. Никонова, 49

²Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Россия, 119017, Москва, Пыжевский пер., 7, стр. 2
*e-mail: shapovalova.nadejda@yandex.ru

Рассмотрено влияние 15-кратного наложения разных видов и доз минеральных удобрений на реакцию среды, содержание фракций ила и тонкой пыли в пахотном слое чернозема обыкновенного. Изучены минералогический состав тонкодисперсных фракций и изменения, произошедшие в структуре слоистых силикатов, в соотношении минеральных фаз в результате кислотного гидролиза минералов. Проведен расчет резервов калия на основании валового количества и содержания в гранулометрических фракциях меньше и больше 1 мкм. Установлено, что систематическое внесение фосфора, а также невысокой дозы азотного удобрения (N₃₀, P₃₀₋₁₅₀) не привело к существенным изменениям минерального состава илистой фракции и снижению ближнего и непосредственного резервов калия. Применение азотного, калийного и полного минерального удобрений в высокой дозе (N₉₀₋₁₅₀, K₁₅₀, N₁₂₀P₁₅₀K₁₂₀) вызвало механическую дезинтеграцию почвенных частиц и трансформацию минералов, что уменьшило содержание илистой фракции в почве (ближний резерв калия) и ослабило способность почвы к восполнению обменных форм калия.

Ключевые слова: минеральные удобрения, илстая фракция, тонкая пыль, минералогический состав, смешанослойные образования, гидрослюды, резервы калия.

DOI: 10.25680/S19948603.2018.102.08

Почвы Ставропольского края в основном хорошо обеспечены калием вследствие их высокого естественного плодородия, обусловленного большим содержанием в почве минералов – природных носителей этого элемента. В пахотном слое (0-20 см) количество валового калия составляет 2-2,5%, из них в подвижной форме находится 200-350 мг/кг (по Мачигину). При такой обеспеченности почв калием применению калийных удобрений уделяется очень мало внимания, и для земледелия края характерен его дефицитный баланс. В среднем по краю на 1 га посевной площади с органическими удобрениями поступает калия около 14 кг, с минеральными – не более 2,5 кг. В лучшем случае только пятая часть вынесенного с урожаем калия возвращается в почву с удобрениями.

Объемы применения калийных удобрений в крае почти в 10 и 14 раз ниже, соответственно, фосфорных и азотных. Многие сельскохозяйственные предприятия совсем не вносят калийные удобрения или применяют их невысокими дозами в составе сложносмешанных удобрений под наиболее рентабельные культуры: подсолнечник, сахарную свёклу, овощи. Без использования калийных удобрений удовлетворение потребностей растений в обменных формах калия происходит за счет его высвобождения из кристаллических решёток мине-

ралов. Это истощает природные запасы элемента в почве и может привести к необратимой деградации почв и ухудшению условий произрастания растений. В наибольшей степени такое наблюдается при систематическом применении повышенных доз физиологически кислых удобрений, активизирующих процессы разрушения минеральной части почвы [7, 12].

Минералогический состав имеет большое значение для почвенного плодородия и питания растений, поскольку характеризует направленность почвообразовательных процессов и позволяет дифференцировать валовой запас калия по степени доступности растениям [1]. Наиболее динамичны и чувствительны по отношению к антропогенным воздействиям минералы, входящие в состав тонкодисперсных фракций почвы [2, 3, 8, 12-14]. Тонкодисперсные фракции (менее 5 мкм) содержат повышенное количество питательных элементов, гумусовых веществ, определяют поглотительную способность почвы, скорость каталитических реакций и т.д. Поэтому для характеристики калийного состояния почвы важно выявить изменения, происходящие в гранулометрическом и минералогическом составе под действием минеральных удобрений.

Цель исследований – изучить влияние систематического внесения разных видов и доз минеральных удоб-

рений на валовое содержание калия и его распределение по категориям резервов в зависимости от содержания и минералогического состава тонкодисперсных фракций в пахотном слое чернозема обыкновенного.

Методика. Исследования выполнены в длительном опыте ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр» (Ставропольский НИИСХ), заложенном в 1975 г. и входящем в Географическую сеть опытов с удобрениями и другими агрохимическими средствами.

Почва – чернозем обыкновенный мощный малогумусный тяжелосуглинистый на лессовидных суглинках. Обеспеченность слоя 0-20 см подвижным фосфором низкая (10-15 мг/кг по Мачигину), обменным калием – средняя (202-212 мг/кг), содержание гумуса – среднее (4,30% по Тюрину), реакция среды – слабощелочная ($pH_{водн.}$ 7,3 по ГОСТ 26423-85).

Схема опыта включает 42 варианта, расположенных пространственно по принципу блоков: азотного, фосфорного и калийного. Блоки содержат варианты систематического (ежегодного) внесения одного из элементов питания в дозах от 0 до 180 кг д.в./га с интервалом в 30 кг. Те же дозы вносят на фоне 120 кг д.в./га двух других элементов. В качестве удобрений используют аммиачную селитру, суперфосфат и 40%-ную калийную соль. Севооборот шестипольный со следующим чередованием культур: 1 – чистый пар (в 4-й ротации занятой пар); 2 – озимая пшеница; 3 – озимая пшеница; 4 – кукуруза на силос (в 4-й и 5-й ротациях чистый пар); 5 – озимая пшеница; 6 – овес (яровой ячмень). Опыт проводится на трёх полях, последовательно закладываемых во времени с интервалом в один год. Площадь опытных делянок – 75 м², повторность – четырехкратная. В течение первых трех ротаций предложенная методика полностью соблюдалась. В 4-й ротации из-за сложившейся экономической ситуации в течение трёх лет изучали последствие удобрений, а затем снова начали наложение удобрительных средств, но уже с некоторыми изменениями в разработанной схеме опыта. В связи с отсутствием удобрений на рынке простой суперфосфат заменили аммофосом, а внесение калийных удобрений прекратили. В 5-й ротации также применяли только азотное и фосфорное удобрения. Таким образом, за 30 лет прямого действия удобрений (1-5-я ротации) проведено 21-кратное наложение азотного и фосфорного и 15-кратное – калийного удобрения. С 2006 г. в опыте осуществляют наблюдения за последствием удобрений (6-я ротация). Минералогическое и калийное состояние почвы изучали в образцах, отобранных в IV ротации севооборота после 15-кратного наложения (в течение 18 лет) возрастающих доз азотного, фосфорного и калийного удобрений и трех лет последствия перед возобновлением внесения азотного и фосфорного удобрений. Исследования проведены в 10 вариантах. За контроль принят средний (исходный) образец, отобранный на экспериментальном поле до закладки опыта и внесения удобрений.

Почвенные образцы взяты из слоя 0-20 см в осенний период в паровом поле перед посевом озимой пшеницы. Пробоподготовку, минералогический и валовой химический анализы осуществляли в Почвенном институте им. В.В. Докучаева. Сепарирование образцов почвы по фракциям <1 мкм и 1-5 мкм, расчеты резервов калия выполнены по методике Н.И. Горбунова [2], полуколичественное содержание основных минеральных

фаз во фракции <1 мкм – по методике Биская [19], содержание минералов во фракции тонкой пыли – по методу Кука [20]. Минералогический состав определен рентгендифрактометрическим методом с использованием универсального рентгендифрактометра HZG-4A фирмы «Карл Цейс Йена» (Германия). Для каждого образца съемку проводили в воздушно-сухом состоянии, после насыщения этиленгликолем и прокаливании при 550⁰С в течение 2 ч. Валовой анализ калия в почве и в илистой фракции (<1 мкм) выполнен рентгенфлуоресцентным методом на установке WRA-30; обменный калий в 1 %-ной углеаммонийной вытяжке по Мачигину; pH_{KCl} – потенциометрически по ГОСТ 26483-85.

Результаты и их обсуждение. Систематическое внесение минеральных удобрений в течение трех ротаций севооборота привело к увеличению кислотности почвы и заметному снижению общего количества тонкодисперсных фракций (<5 мкм) в пахотном слое чернозема обыкновенного (табл. 1).

1. Влияние 15-кратного наложения минеральных удобрений на кислотность чернозема обыкновенного и содержание тонкодисперсных фракций в слое 0-20 см

Вариант опыта	Внесено НРК, кг д.в./га	Среднегодовые дозы удобрений, кг д.в./га	pH_{KCl}	Содержание фракций, %, размером, мкм		
				<1	1-5	<5
0*	-	-	6,3	25,8	13,9	39,7
N ₃₀	N ₄₅₀	N ₂₁	5,4	28,6	8,5	37,1
N ₉₀	N ₁₃₅₀	N ₆₄	5,2	22,5	9,0	31,5
N ₁₅₀	N ₂₂₅₀	N ₁₀₇	5,0	20,5	9,0	29,5
P ₃₀	P ₄₅₀	P ₂₁	5,6	28,5	11,2	39,7
P ₉₀	P ₁₃₅₀	P ₆₄	5,6	27,1	11,2	38,3
P ₁₅₀	P ₂₂₅₀	P ₁₀₇	5,5	25,6	11,2	36,8
K ₃₀	K ₄₅₀	K ₂₁	5,7	25,8	10,0	35,8
K ₉₀	K ₁₃₅₀	K ₆₄	5,7	25,4	10,5	35,9
K ₁₅₀	K ₂₂₅₀	K ₁₀₇	5,5	23,0	13,8	36,8
N ₁₂₀ P ₁₅₀ K ₁₂₀	N ₁₈₀₀ P ₂₂₅₀ K ₁₈₀₀	N ₈₆ P ₁₀₇ K ₈₆	5,4	22,9	14,1	37,0

*Исходный образец, отобранный перед закладкой опыта (здесь и в табл. 2, 3).

Степень подкисления почвы находилась в прямой зависимости от дозы удобрения. Почвы стационарного опыта, в соответствии с общепринятыми группировками, имели нейтральную реакцию (pH_{KCl} 6,3), которая в вариантах с максимальной дозой фосфорного и калийного удобрения стала слабокислой (pH 5,5), азотного удобрения – среднекислой (pH 5,0).

В результате подкисляющего действия удобрений существенные изменения произошли и в количестве тонкодисперсных фракций (менее 5 мкм). В наибольшей степени этот показатель изменился под влиянием азотного, в наименьшей – фосфорного удобрения. Так, в результате внесения аммиачной селитры в максимальной дозе (150 кг д.в./га) содержание этих фракций уменьшилось на 10,2%; а суперфосфата в той же дозе – на 2,9%. При этом реакция илистой фракций и фракции тонкой пыли на удобрения была различной.

Для илистой фракции (<1 мкм) установлена прямая зависимость её количества от дозы применяемого удобрения. Так, в вариантах внесения низких доз азотного и фосфорного удобрений (30 кг д.в./га) количество ила увеличилось на 2,7-2,8%, а при использовании вы-

соких доз удобрений (N_{90-150} , K_{150} , $N_{120}P_{150}K_{120}$), напротив, уменьшилось на 2,8-5,3%.

На фракцию тонкой пыли (1-5 мкм) дозы не оказывали существенного влияния, и при использовании практически всех видов удобрений её содержание снизилось на 2,7-5,4%. Исключение составило внесение калия в высокой дозе (K_{150}) и смеси простых удобрений ($N_{120}P_{150}K_{120}$), при котором в первом случае количество тонкой пыли практически не изменилось (13,8%), а во втором – возросло (до 14,1%). Тонкопылеватая фракция, а именно содержащиеся в ней слоистые силикаты, является резервом пополнения илистой фракции при механической дезинтеграции частичек минералов под влиянием кислотных остатков удобрений [13].

В случае внесения высокой дозы калийного удобрения (K_{150}) в почвенном растворе создаётся повышенная концентрация калия, которая препятствует деградационной трансформации минералов тонкопылеватой и более крупных фракций, что сохраняет её практически на исходном уровне. Увеличение фракции тонкой пыли в варианте с полным минеральным удобрением ($N_{120}P_{150}K_{120}$) свидетельствует о разрушении частиц минералов крупнее тонкой пыли (> 5 мкм) и пополнении за счёт них этой фракции.

Многие исследователи отмечают изменение гранулометрического состава почв при длительном сельскохозяйственном использовании пашни с применением минеральных удобрений [4-6, 9, 15]. Однако, полученные результаты нередко противоречивы и говорят как об уменьшении количества тонкодисперсных фракций, так и об их увеличении. Неоднозначность сделанных выводов объясняется, скорее всего, разной устойчивостью почв к антропогенному воздействию, а также различиями в самих удобрениях, их дозах и длительности применения.

На основании проведённых исследований можно заключить, что при систематическом внесении физиологически кислых удобрений в результате кислотного гидролиза происходят разрушение минералов тонкопылеватой и более крупных фракций и увеличение количества ила в почве. С увеличением длительности использования удобрений, особенно в высоких дозах, наряду с данным процессом активизируется процесс элювиирования, что выражается в уменьшении илистой фракции в пахотном слое и увеличении её в нижних горизонтах [6, 15]. Разрушению минералов крупных фракций почвы препятствуют высокие дозы калийного удобрения в результате необменной фиксации калия и сохранения наиболее устойчивой к выветриванию гидрослюдистой фазы.

Минералогический состав илистой фракции представлен минералами, характерными для чернозёмов, сформированных на лессовидных суглинках разной степени карбонатности [12-14]. Среди слоистых силикатов преобладают две минеральные фазы – смектитовая и гидрослюдистая, сумма которых в исходном образце составляет 89,5%. Поведение калия в почве напрямую связано с этими фазами. Они наименее устойчивы к процессам почвенного выветривания и легко его отдают (табл. 2).

2. Влияние минеральных удобрений на соотношение основных минеральных фаз в слое 0-20 см чернозёма обыкновенного

Вариант опыта	Ил, %	Фракция <1 мкм			Почва в целом, %		
		каолинит + хлорит	гидрослюда	смектит	каолинит + хлорит	гидрослюда	смектит
0*	25,8	10,5	52,3	37,2	2,7	13,5	9,6
N_{30}	28,6	12,3	48,8	38,8	3,5	14,0	11,1
N_{90}	22,5	11,9	51,1	36,7	2,8	11,5	8,2
N_{150}	20,5	8,8	53,1	37,9	1,6	10,9	8,0
P_{30}	28,5	10,9	54,5	34,6	3,1	15,5	9,9
P_{90}	27,1	10,2	48,0	41,7	2,8	13,0	11,3
P_{150}	25,6	9,5	48,8	41,7	2,4	12,5	10,7
K_{30}	25,8	10,9	45,6	43,6	2,8	11,8	11,2
K_{90}	25,4	10,0	46,8	43,3	2,5	11,9	11,0
K_{150}	23,0	7,8	54,8	37,1	1,8	12,6	8,5
$N_{120}P_{150}K_{120}$	22,9	13,3	55,9	30,6	3,0	12,8	7,0

Смектитовая фаза состоит из сложных неупорядоченных смешанослойных образований нескольких видов, среди которых доминируют образования слюда-смектитового типа с различным сочетанием слюдитых и смектитовых пакетов. Гидрослюды относятся к категориям ди- и триоктаэдрического типа, каолинит – несовершенный, хлорит – магнезиально-железистый. Степень влияния удобрений на соотношение основных минеральных фаз в илистой фракции чернозёма также зависела от вида и дозы.

Несмотря на то, что азотное удобрение способствовало наибольшему изменению содержания ила в почве, это не привело к существенным изменениям в соотношении основных минеральных фаз. При этом характер рентгендифрактометрических спектров показал тенденции качественных преобразований смешанослойных образований (рис.).

При внесении азота в дозе 30 кг/га увеличилось количество смешанослойных образований с низким содержанием смектитовых пакетов, которые при применении высоких доз (90-150 кг/га) трансформировались в гидрослюды с аградационной фиксацией иона аммония и слюды-смектиты с повышенным количеством набухающих пакетов в кристаллитах. По-видимому, именно этот необменно фиксированный аммоний и является одним из источников азота для культур в последствии удобрений. Это позволяет достичь существенного прироста урожайности в этих вариантах (N_{90-150}), сопоставимого с эффективностью последовательности фосфора [16, 17]. Более наглядно характер соотношения минеральных фаз проявляется при пересчёте их содержания на почву в целом.

Применение фосфорного удобрения в возрастающих дозах не оказало заметного влияния как на содержание ила в почве, так и на соотношение минеральных фаз и характер рентгендифрактометрических спектров. В сравнении с исходным образцом отмечено лишь несколько более высокое содержание смектитовой фазы, обусловленное трансформацией гидрослюды в смешанослойные образования при кислотном гидролизе минералов.

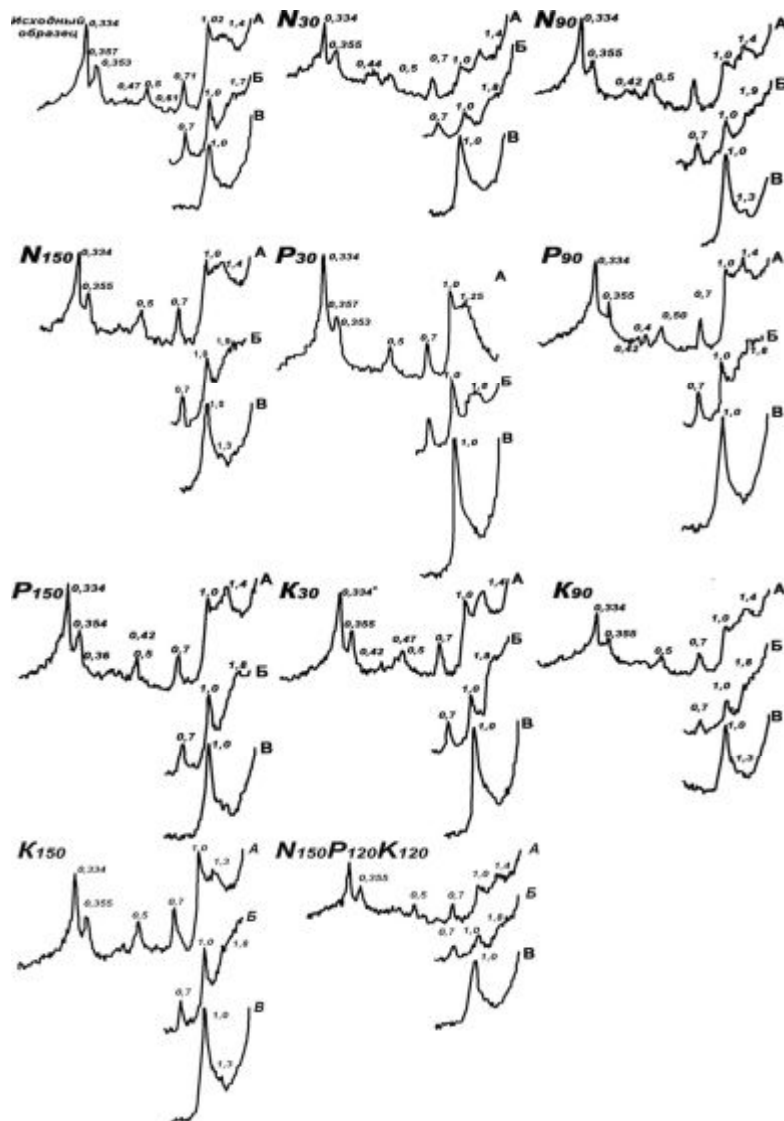


Рис. Рентгendifрактограммы фракции менее 1 мкм чернозема обыкновенного перед закладкой опыта (исходный образец) и после 15-кратного наложения разных видов и доз минеральных удобрений:

А – воздушно-сухое состояние образца, Б – после сольватации этиленгликолем, В – после прокаливании при 550°C в течение 2ч; межплоскостные расстояния указаны в нанометрах

В сравнении с азотным и фосфорным удобрением внесение калия привело к более существенным изменениям в соотношении минеральных фаз илстой фракции чернозема. Направленность и степень этих изменений зависели от дозы. При ежегодном внесении 30-90 кг/га калия количество смектитовой компоненты увеличилось на 6,1-6,4%. Заполнение промежутка рефлекса в области 1,0 нм к рефлексу 1,4 нм на рентгendifрактограмме свидетельствует о трансформации гидрослюдов в смешанослойные образования с низким содержанием смектитовых пакетов.

Применение калийного удобрения в высокой дозе (150 кг д.в./га), напротив, предотвратило деградационную трансформацию гидрослюдов в смешанослойные образования, что уже было экспериментально доказано работами Б.П. Градусова, А.В. Зотова и В.Л. Русинова (1975). В этом случае возможно протекание другого, аградационного процесса – перехода смешанослойных образований в гидрослюды с необменной фиксацией калия. Единое мнение по поводу доступности этого калия для растений в дальнейшем отсутствует.

Самые большие изменения минералогического состава илстой фракции произошли при внесении полного минерального удобрения в высокой дозе –

N₁₂₀P₁₅₀K₁₂₀. Уменьшение содержания смектитовой фазы на 6,6% и резкое снижение интенсивности всех рефлексов свидетельствуют об изменении структурного состояния слоистых силикатов в сторону их необратимой трансформации и разрушения.

Усиление процессов трансформации минералов под влиянием удобрений происходило не только в илстой, но и во фракции тонкой пыли (1-5 мкм). Соотношение минералов в тонкопылеватой фракции существенно отличалось от илстой в связи со значительным преобладанием тонкопылеватого кварца и наличием калиевых полевых шпатов, которые служат потенциальным резервом калия для растений.

Реакция минералов фракции тонкой пыли на внесение удобрений также определялась их видом. Как и в илстой фракции наиболее активное проявление негативных тенденций отмечено при внесении азотного удобрения. Это выражалось в увеличении неустойчивых к разрушению минералов (смешанослойные слюда-смектитовые образования и хлорит), которые поступали из более крупных фракций при разрушении минералов. Внесение калийного удобрения, напротив, заметно увеличивало содержание более устойчивых к выветриванию минералов – слюда-гидрослюды. Влияние фосфор-

ного удобрения на содержание тонкопылеватой фракции и изменение соотношения минеральных фаз также как и во фракции ила слабо проявилось.

Минералогический состав почвы характеризует её калийное состояние, поскольку оно напрямую связано с наличием минералов-носителей этого элемента. По схеме, предложенной Н.И. Горбуновым, валовое содержание калия в почве распределяется по категориям резервов. Калий первичных минералов (калиевых полевых шпатов и крупнозернистых слюд) в гранулометрических фракциях крупнее ила (более 1 мкм) образует потенциальный резерв, в основном недоступный для растений. Ближний резерв представлен калием в илистой фракции, который содержится в основном в минералах группы слюд (мусковит, серицит, биотит и флогопит), частично доступен для растений. Наиболее доступен для растений обменный калий почвенных коллоидов и почвенного раствора (непосредственный резерв).

Доля участия каждого из резервов в обеспечении растений калием не равнозначна, поэтому судить о со-

стоянии калия в почве и её способности снабжать им растение в процессе его роста можно только проанализировав все категории резервов почвы в целом [10, 11].

В валовом содержании калия наиболее существенные изменения произошли при внесении калийного удобрения (табл. 3). Увеличение относительно исходного уровня составило 130-200 мг/100 г, или 6,1-9,4%. Применение азотного и фосфорного удобрений также способствовало повышению общего содержания K_2O , хотя и в меньшей степени – на 90-130 и 70-90 мг/100 г, или на 4,2-6,1 и 3,3-4,2% соответственно. Это связано, по-видимому, с положительным влиянием удобрений на урожай культур и более активным использованием калия нижних слоёв почвы. Исключение составили варианты применения низкой дозы фосфорного (P_{30}) и полного минерального удобрения в высокой дозе ($N_{120}P_{150}K_{120}$), в которых общее содержание K_2O в первом случае практически не изменилось, во втором – уменьшилось на 2,3%.

3. Дифференцированная оценка запасов калия в черноземе (в слое 0-20 см)

Вариант опыта	Ил, %	Содержание K_2O , %		Резервы калия						
		почва	ил	мг/100 г				% от общего		
				общий	потенциальный	ближний	непосредственный	потенциальный	ближний	непосредственный
0*	25,8	2,13	2,62	2130	1435	676	19	67,37	31,74	0,89
N_{30}	28,6	2,25	2,42	2250	1538	692	20	68,36	30,76	0,89
N_{90}	22,5	2,22	2,43	2220	1654	547	19	74,50	24,64	0,86
N_{150}	20,5	2,26	2,54	2260	1721	521	18	76,15	23,05	0,80
P_{30}	28,5	2,12	2,68	2120	1335	764	21	62,97	36,03	0,99
P_{90}	27,1	2,20	2,63	2200	1469	713	18	66,77	32,41	0,82
P_{150}	25,6	2,22	2,63	2220	1530	673	17	68,92	30,32	0,77
K_{30}	25,8	2,26	2,59	2260	1571	668	21	69,51	29,56	0,93
K_{90}	25,4	2,30	2,55	2300	1631	648	21	70,91	28,17	0,91
K_{150}	23,0	2,33	2,69	2330	1687	619	24	72,40	26,57	1,03
$N_{120}P_{150}K_{120}$	22,9	2,08	2,79	2080	1424	639	17	68,46	30,72	0,82

Хотя удобрения и способствовали увеличению содержания валового калия в пахотном слое почвы, его распределение по категориям резервов и доступности растениям различалось в зависимости от их вида и дозы.

При внесении повышенных доз азотного удобрения (90-150 кг д.в./га) наблюдалось увеличение количества калия в потенциальном резерве и снижение в ближнем и непосредственном резервах. Это может свидетельствовать об ослаблении способности почвы поддерживать природный уровень содержания обменных форм. Относительно исходного уровня содержание K_2O уменьшилось на 19,1-22,9%, а его доля в валовом количестве – с 31,7 до 23,1-24,6%. Это связано, по-видимому, со снижением содержания фракции ила в почве и с уменьшением гидрослюдистой и смектитовой компонент, являющихся одним из основных источников обменного калия в почве.

Подобная тенденция в распределении калия по резервам (увеличение потенциального, уменьшение ближнего и непосредственного резервов) наметилась и в отношении фосфорного удобрения при внесении в максимальной дозе – 150 кг д.в./га. Внесение фосфорного удобрения в низкой дозе (30 кг/га д.в.), напротив, привело к увеличению количества калия в ближнем и непосредственном резервах на 13,0 и 10,5% относительно исходного состояния и их доли в общем со-

держании на 4,3 и 0,1% соответственно. Это связано с последствиями процесса выветривания минералов крупных фракций и пополнения ими илистой фракции за счет снижения потенциального резерва калия. Активатором этого процесса стали остаточные количества серной кислоты, входящей в состав суперфосфата и способствовавшие подкислению почвенного раствора [18]. Вместе с тем, тенденция к уменьшению количества калия в непосредственном и ближнем резервах с возрастанием дозы фосфорного удобрения также свидетельствует о возможном ослаблении способности почвы к восполнению обменных форм. Со временем недостаток доступного растениям калия может стать серьёзным ограничивающим фактором в достижении планируемой урожайности культур при длительном систематическом применении даже невысоких доз фосфорного удобрения – 30 кг д.в./га.

Внесение калийного удобрения способствовало накоплению K_2O в двух формах, как в самой подвижной и легкодоступной, так и в трудно доступной – в потенциальном резерве. Непосредственный резерв калия увеличился на 10,5-26,3% от исходного уровня, а его доля в общем содержании возросла с 0,89 до 0,91-1,03%. В отношении ближнего резерва элемента отмечена тенденция к его снижению, которая усиливается с повышением дозы калийного удобрения. Внесение калийного удобрения в условиях дефицита азота и фосфора в

почве увеличивает необменную фиксацию калия вследствие трансформации смешанослойных образований в гидрослюды. Данный процесс протекает преимущественно в тонкопылеватой фракции, что обусловлено более высокой зарядностью слоистых силикатов крупных фракций. В результате потенциальный резерв элемента повысился на 9,5-17,6% относительно исходного уровня, а ближний резерв уменьшился на 1,2-8,4%. Это свидетельствует о том, что систематическое одностороннее применение калийного удобрения на черноземах увеличивает необменную фиксацию калия в почве с плохо изученной возможностью дальнейшего использования.

Применение полного минерального удобрения в высокой дозе ($N_{120}P_{150}K_{120}$) привело к снижению содержания K_2O во всех категориях резервов. Наиболее существенные изменения произошли в непосредственном (на 10,5%) и ближнем (на 5,5%) резервах. Доля этих резервов в общем количестве заметно сократилась, а потенциального резерва возросла, что связано с уменьшением содержания илстой фракции в почве и значительными изменениями в ней минеральных фаз.

Это подтверждает необходимость научно обоснованного подхода к выбору вида и дозы минерального удобрения в целях предотвращения развития деградационных процессов в почве.

Заключение. Таким образом, 15-кратное применение разных видов минеральных удобрений привело к увеличению в слое 0-20 см кислотности среды, уменьшению содержания тонкодисперсных фракций, изменению минералогического состава фракций, валового количества калия и его распределения по категориям резервов.

Наиболее существенные изменения отмечены при внесении высоких доз азотного, калийного и полного минерального удобрения. В результате кислотного гидролиза минералов произошли механическое дробление почвенной массы и обеднение илом пахотного слоя, что вызвало заметное сокращение ближнего резерва калия и ослабление способности почвы к восполнению обменных форм. Систематическое применение $N_{120}P_{150}K_{120}$ привело также к существенным изменениям в соотношении минеральных фаз и структуре слоистых силикатов, направленным в сторону необратимой трансформации и разрушения минеральной части почвы.

Фосфорное (P_{30-150}), а также азотное в невысокой дозе (N_{30}) удобрения не оказали отрицательного влияния на минеральный состав почвы, ближний и непосредственный резервы калия. Поэтому для сохранения минеральной части почв, в которой сосредоточено их потенциальное плодородие, необходимо минимизировать дозы применяемых минеральных удобрений, особенно азотных, и по возможности компенсировать вынос природного калия удобрениями.

Литература

1. Горбунов Н.И. Значение минералов для плодородия почв // Почвоведение. - 1959. - №7. - С.1-13.
2. Горбунов Н.И. Минералы и физическая химия почв. - М.: Наука, 1978. - 296 с.
3. Градусов Б.П. О геохимии илистого вещества почв // Минералы почв: генезис, география, значение в плодородии и экологии: научн. тр./ Почв. ин-т им. В.В. Докучаева. - М., 1996. - С. 110-124.
4. Завьялова Н.Е. Гумусное состояние дерново-подзолистых почв Предуралья при различном земледелии и длительном применении удобрений и известии: автореф. дис. ... д-ра. биол. наук/ Завьялова Нина Егоровна. - М., 2007. - 46 с.
5. Исра М.М. Изменение состава минеральной части выщелоченного чернозема при длительном применении удобрений в условиях Центрально-Черноземного района РФ: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук/ Мустафа Машхур Исра. - С.-Петербург, 2009. - 18 с.
6. Кенжегулова С.О. Изменение свойств различных типов почв Западной Сибири под влиянием длительного сельскохозяйственного использования: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук/ Кенжегулова Саягуль Олжабаевна. - Барнаул, 2008. - 17 с.
7. Ковда В.А. Биогеохимия почвенного покрова. - М.: Наука, 1985. - 264 с.
8. Кубашев С.К., Годунова Е. И., Чижикова Н.П. Минералогический состав чернозема слитого солонцеватого и функциональная роль минералов в оценке плодородия почв // Эволюция и деградация почвенного покрова: Мат. II междунар. научн. конф. Т.1.- Ставрополь, 2002. - С.41-45.
9. Минакова О.А. Агроэкологические аспекты применения удобрений в зернопаропропашном севообороте лесостепи ЦЧР: автореф. дис. ... д-ра. с.-х. наук/ Минакова Ольга Александровна. - Воронеж, 2011. - 48 с.
10. Прокопьев В.В., Дерюгин И.П. Калий и калийные удобрения. - М.: Ледум, 2000. - 185 с.
11. Чижикова Н.П., Годунова Е. И., Шкабарда С.Н. Дифференцированная оценка запасов калия в почвах полигона «Агроландшафт» // Генезис, география, классификация почв и оценка почвенных ресурсов: Мат. Всерос. научн. конф., посвящ. 150-летию со дня рождения Н.М. Сибирцева (14-16 сентября 2010 г., VIII Сибирские чтения). - Архангельск, 2010. - С.208-212.
12. Чижикова Н.П. Изменение минералогического состава тонких фракций почв под влиянием агротехногенеза // Почвоведение. - 2002. - №7. - С.867-875.
13. Чижикова Н.П., Прищеп Н.П. Изменение содержания тонкодисперсных фракций и их минералов под влиянием калийных удобрений // Докл. РАСХН. - М. -1996. - №3. - С. 20-21.
14. Чижикова Н.П. Минералогический состав илистых фракций черноземов // Черноземы СССР. - М.: Колос, 1974. - Т.1. - С.173-186.
15. Чижикова Н.П., Годунова Е.И., Шкабарда С.Н., Самсонова А.А., Малуева Т.И. Пространственное распределение глинистых минералов в агрочерноземах эрозивно-денудационных равнин Ставропольского края // Почвоведение. - 2012. - №9. - С.983-996.
16. Шаповалова Н.Н., Шустикова Е.П., Воронаева А.А. Влияние длительного внесения минеральных удобрений на продуктивность полевого севооборота в прямом действии и последствии // Достижения науки и техники АПК. - 2017. - Т.31. - №2. - С.11-14.
17. Шустикова Е.П., Шаповалова Н.Н., Петров Н.Л. Эффективность минеральных удобрений в полевом севообороте в зависимости от доз и длительности применения: методич. рекоменд. Михайловск: ГНУ «Ставропольский НИИСХ», 2005. 25 с.
18. Шаповалова Н.Н., Годунова Е.И., Шустикова Е.П. Кислотные свойства чернозема обыкновенного после длительного внесения минеральных удобрений // Плодородие. - 2016. - №4 (91). - С.15-18.
19. Biscaye P.E. Distinction between kaolinite and chlorite in recent sediments by X-ray diffraction // Am. Mineralogist. 1964. V. 49. № 9/10. P. 1281-1289.
20. Cook H.E., Johnson P.D., Matti J.C. and Zemmels I. Methods of sample preparation and X-ray diffraction data analysis, X-ray Mineralogy Laboratory, Deep Sea Drilling Project, University of California, Riverside: Washington, 1975. P. 999-1007.

MINERALOGICAL COMPOSITION OF FINE FRACTIONS AND THE RESERVES OF POTASSIUM IN CHERNOZEM UNDER APPLICATION OF MINERAL FERTILIZERS

N. N. Shapovalova¹, N.P. Chizhikova², E.I. Godunova¹, I. G. Storchak¹

¹ North-Caucasian Federal Scientific Agriculture Center, Nikonova ul. 49, 356241 Mikhailovsk, Shpakovsky district, Stavropol Krai, Russia,

² V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, Pyzhevsky per. 7 bldg. 2, 119017 Moscow, Russia, E-mail: schapovalova.nadejda@yandex.ru

The influence of 15-fold superposition of different types and doses of mineral fertilizers on the reaction of the medium, the content of silt and fine dust fractions in the arable layer of ordinary chernozem is considered. The mineralogical composition of fine fractions and changes in the structure of layered silicates and the ratio of mineral phases as a result of acid hydrolysis of minerals are studied. The

potassium reserves calculated on the basis of potassium gross amount and its content in different particle-size fractions (less than and greater than 1 μm). Our research revealed the systematic application of phosphorus, as well as a low dose of nitrogen (N_{30} , P_{30-150}) did not lead to significant changes in the mineral composition of the silt fraction and reduce of near and immediate potassium reserves. The use of nitrogen, potassium and complete mineral fertilizers in high doses (N_{90-150} , K_{150} , $\text{N}_{120}\text{P}_{150}\text{K}_{120}$) caused the mechanical disintegration of soil particles and the mineral transformation that decreased the content of clay fraction in the soil (close potassium reserve) and weakened the ability of soil to replenish the exchange potassium forms.

Key words: mineral fertilizers, clay fraction, fine dust mineralogical composition, mixed-layer formation, hydrology, reserves of potassium

УДК 54:631.445.4:631.434(470.63)

ГИДРОГЕЛЬ И СТРУКТУРНЫЙ СОСТАВ ОБЫКНОВЕННЫХ ЧЕРНОЗЕМОВ ЗОНЫ НЕУСТОЙЧИВОГО УВЛАЖНЕНИЯ СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ

Е.И. Годунова, д.с.-х.н., С.Н. Шкабарда, к.с.-х.н.,

Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр

356241, Россия, Ставропольский край, Шпаковский район, г. Михайловск, ул. Никитина, д. 49,

E-mail: snish@mail.ru, (86553) 2-32-97, shkabardas@mail.ru

Изложены результаты сравнительного изучения влияния обработок и гидрогеля на агрегатный состав чернозема обыкновенного. Установлена положительная роль самой высокой в опыте дозы полимера – 400 кг/га в оптимизации структурного состояния почвы. Коэффициент структурности в зависимости от способа обработки почвы возрос с 1,63-1,65 до 2,80-2,95 за счет снижения доли глыбистой фракции (>10 мм) и мелких частиц (<0,25 мм). Увеличилась и доля особенно ценных фракций: 1-3 и 0,5-5,0 мм. При этом доля эрозионно опасных частиц практически не изменилась, а величина средневзвешенного диаметра снизилась с 6,20-6,36 мм на контроле (без полимера) до 5,55-5,70 мм в варианте с внесением 400 кг/га гидрогеля.

Ключевые слова: чернозем обыкновенный, гидрогель, средневзвешенный диаметр, коэффициент структурности.

DOI: 10.25680/S19948603.2018.102.09

Известна важная роль сильнонабухающих (в 300-1000 раз) гидрогелей в улучшении водообеспеченности возделываемых культур в различных почвенно-климатических условиях, в том числе и на обыкновенных черноземах Центрального Предкавказья [1-3]. Применение полимера позволяет в течение трех-четырех, а возможно и более лет (в зависимости от дозы), иметь более высокие (на 4,2-142,8%) запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы (в зависимости от дозы гидрогеля и этапа органогенеза возделываемой культуры) за счет сохранения влаги выпадающих осадков, снижения стока и испарения. Это способствует стабилизации зернового производства на юге страны, развитию сельскохозяйственной отрасли в целом.

Оптимальные условия роста и развития растений во многом зависят от структурного состояния почв, определяющего уровень эффективного плодородия, интенсивность протекания биологических, физико-химических, химических и других процессов, от которых зависит величина продуктивности возделываемых культур. Размер фракций имеет важное значение и для поступления элементов питания в корни растений [4], что может влиять на эффективность вносимых удобрений.

Наряду с благоприятным воздействием на структурное состояние различных почв органических удобрений, соломы, органоминеральных компостов, заделки сидератов наблюдается и положительное влияние полимера на содержание агрономически ценных агрегатов. Так, в Пензенской области при внесении полиакриламидного полимера В-415 отмечалось, в зависимости от его дозы, увеличение структурности чернозема

выщелоченного среднегумусного среднесуглинистого с 0,95 до 1,53-2,15, снижение выпханности с 36,32 до 26,88-17,31%. Причем наиболее благоприятные изменения наблюдались в варианте с более высокой дозой полимера – 0,1% от массы почвы, в то время как при меньшей дозе – 0,05% они были менее значительными [5].

На почвах легкого гранулометрического состава Астраханской области коэффициент структурности возрос с 1,3 на контроле до 3,0 при внесении 300 кг/га полимера, 3,3 в варианте с использованием 600 кг/га полиакриламида и 4,3 – от применения дозы 1200 кг/га [6].

Цель исследований – изучить влияние гидрогеля на структурное состояние обыкновенных черноземов в зоне неустойчивого увлажнения Ставропольского края.

Методика. Исследования проводили на черноземе обыкновенном среднесуглинистом в звене севооборота: 1 – озимая пшеница по полупару; 2 – редька масличная на сидерат; 3 – озимая пшеница. Изучали два способа обработки почвы: отвальную вспашку на 20-22 см плугом ПН-8-35 и мелкую обработку на 10-12 см, выполняемую тяжелой дисковой бороной БДТ-3. Структурно-агрегатный состав в слое 0-20 см определяли методом Н.И. Саввинова («сухое» рассеивание). Статистическая обработка данных проведена по Б.В. Доспехову [7] с использованием программы AgCStatExcel.

Результаты и их обсуждение. Несмотря на то, что к агрономически ценным фракциям чаще всего относят агрегаты размером от 0,25 до 10,0 [4, 8, 9] или 0,25-7,0 мм [6, 10], К.К. Гедройц считал, что оптимальный размер структурных агрегатов меняется в зависимости от