

ИК-СПЕКТРЫ ПОГЛОЩЕНИЯ ФРАКЦИЙ
ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ЧЕРНОЗЕМА ТИПИЧНОГО
ЦЕЛИННОГО КУРСКОЙ ОБЛАСТИ

В.Г. МАМОНТОВ, С.А. БЕЛЯЕВА, К.А. ШМАКОВА

(Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева)

С помощью метода инфракрасной спектроскопии изучены фракции гранулометрических элементов, выделенных методом отмучивания из гумусово-аккумулятивного горизонта А целинного чернозема типичного мощного Курской области. Согласно полученным данным фракции гранулометрических элементов существенно различаются вещественным составом. Фракция крупной пыли преимущественно состоит из кварца, полевых шпатов, полисахаридов и небольшого количества специфических гумусовых веществ. Фракции мелкой пыли, и особенно илистая, существенно отличаются по вещественному составу от фракции крупной пыли. В основном они состоят не только из полисахаридов, но и из глинистых минералов, в том числе и смешанослойных образований слюдисто-монтмориллонитового типа, гораздо более высокого количества специфических гумусовых веществ, меньшего количества кварца и полевых шпатов. Фракция средней пыли по вещественному составу занимает промежуточное положение и в большей мере приближена к тонкодисперсным фракциям, нежели к фракции крупной пыли. Метод инфракрасной спектроскопии позволяет выявить принципиальные различия в вещественном составе между отдельными гранулометрическими фракциями. Однако ряд специфических особенностей, присущих индивидуальным компонентам твердой фазы почвы, не проявляется на инфракрасных спектрах гранулометрических фракций. Это обусловлено активным взаимодействием органических и минеральных компонентов почвы. В результате таких взаимодействий многие активные центры и функциональные группы блокируются и не проявляются на инфракрасных спектрах.

Ключевые слова: ИК-спектроскопия, гранулометрические фракции, гумусовые вещества, полисахариды, кварц, полевые шпаты, глинистые минералы, *Typlic Chernozem (Loamic, Pachic)*.

Введение

Для изучения вещественного состава почвы и отдельных ее компонентов широко применяются инструментальные физико-химические методы анализа [6, 9, 15, 27, 28, 35]. К числу таких методов относится ИК-спектроскопия. Этот метод позволяет выявить характерные особенности, присущие компонентам твердой фазы почвы, не подвергнутой химическому воздействию [15]. Так (в частности, в черноземе), благодаря ИК-спектроскопии удалось обнаружить полосы поглощения, характерные для гуминовых кислот, что послужило одним из доказательств их присутствия в нативной почве [17].

ИК-спектры образцов из горизонта А таких почв юга Бразилии, как *Mollisol* и *Oxisol*, показали сходную картину. На них зафиксированы полосы поглощения,

присущие карбоксильным группам, алифатическим группам CH_3 и CH_2 , фенолам и третичным спиртам. Отмечается, что в естественных почвах органическое вещество прочно закрепляется поверхностью минеральных компонентов [33].

Высказывается мнение о том, что ИК-спектроскопия вполне подходит для изучения особенностей изменения органического вещества в естественных почвах и представляет собой действенный инструмент для оценки роли органических веществ в формировании почвенного профиля [36].

Обобщив данные литературы, группа исследователей пришла к выводу о том, что инфракрасная спектроскопия является одним из наиболее перспективных неdestructивных аналитических методов исследования в почвоведении, поскольку позволяет одновременно получать несколько качественных характеристик почвенного образца [37]. Это заключение подтверждается данными других ученых. В частности, при изучении некоторых почв Удмуртии с помощью ИК-спектроскопии удалось обнаружить полосы поглощения, характерные для групп CH_2 и CH_3 алифатических органических структур, полосы поглощения карбоксильных групп и карбоксилат-ионов, амидов, полисахаридов и спирты, ароматических групп C-H . Наряду с этим были обнаружены полосы поглощения, присущие кварцу, каолиниту, монтмориллониту и гипсу [32].

С помощью ИК-спектроскопии удастся выявить особенности трансформации минералогического состава почв при естественном ходе почвообразовательного процесса и характер изменения структурных особенностей гумусовых кислот при окультуривании почв [4, 7, 29].

ИК-спектроскопия нашла свое применение и в исследованиях методического характера, а также при разработке диагностических показателей гумусовых кислот почвы [6, 16, 28].

Основа твердой фазы почвы состоит из элементарных почвенных частиц, формирующих один из иерархических уровней структурной организации почвы [20]. Элементарные почвенные частицы объединяются во фракции гранулометрических элементов, различающиеся между собой не только размером, но и природой, химическим, минералогическим составом и свойствами [11]. Интерес к выделению и изучению фракций гранулометрических элементов обусловлен тем, что именно на этом уровне происходят основные превращения веществ в почвах [26].

К настоящему времени получен значительный объем информации, характеризующей химической и минералогической состав фракций гранулометрических элементов [2, 3, 12, 19, 21, 23, 24]. Установлено распределение органического вещества по разным фракциям твердой фазы почвы [5, 8, 10] и выявлены особенности трансформации гумусовых веществ гранулометрических фракций под влиянием мелиорации [14].

На основании собственных экспериментальных данных и обобщения источников литературы показано, что между размером фракций гранулометрических элементов, их химическим и минералогическим составом существует четко выраженная зависимость. Она проявляется в том, что по мере уменьшения размера почвенных частиц в них увеличивается содержание железа, алюминия, магния, фосфора, никеля, марганца, цинка и глинистых минералов. Содержание кремния, натрия, полевых шпатов и кварца по мере уменьшения размера почвенных частиц, наоборот, снижается. При этом органическое вещество преимущественно локализовано в илистой фракции и фракции мелкой пыли [5, 11, 12]. Эти данные существенно расширяют наши представления об особенностях вещественного состава важнейших структурных компонентов твердой фазы почвы. Однако оптические свойства фракций гранулометрических элементов почв остаются до настоящего времени все еще недостаточно изученными.

Цель исследований: изучить ИК-спектры фракций гранулометрических элементов целинного чернозема типичного, полученных методом отмучивания.

Материал и методы исследований

Объектом исследований явился чернозем типичный тяжелосуглинистый на карбонатном лессовидном суглинке – *haplic Chernozem (Loamic, Pachic)*.

Почвенные образцы отбирались в Центрально-Черноземном государственном биосферном заповеднике имени А.А. Алехина на участке целинной некосимой степи из гумусово-аккумулятивного горизонта А чернозема мощностью 20 см. Общие свойства этого объекта к настоящему времени изучены довольно подробно и неоднократно освещались в литературе [13, 18, 30].

Фракции гранулометрических элементов (пыль крупная, пыль средняя, пыль мелкая, илистая фракция) выделяли методом отмучивания при соотношении «Почва: дистиллированная вода», равном 1:100, начиная с илистой фракции, и далее, по мере увеличения размера фракций [5], и высушивали на водяной бане. Образец почвы перед отмучиванием был подвергнут обработке ультразвуком на установке УЗДН-2Т согласно имеющимся рекомендациям [31].

ИК-спектры поглощения были получены при помощи ИК Фурье-спектрометра Spectrum One фирмы PerkinElmer (США), оснащенного детектором LiTaO₃ и KBr-светодетектором. Съемка образцов производилась в средней области (4000–400 см⁻¹) с точностью 100 сканирований/образец и разрешением 4 см⁻¹.

Для съемки были подготовлены KBr-таблетки. Образец массой 0,5 мг растирался со спиртом в агатовой ступке в течение 1 мин, затем добавлялось 200 мг KBr, после чего смесь растиралась еще в течение 2–3 мин до однородности. Полученная смесь помещалась в пресс-форму диаметром 13 мм и подвергалась давлению 10 т в течение 15–20 мин в гидравлическом прессе. С полученной таким образом таблетки получали ИК-спектр поглощения («исходный образец»). Далее полученный препарат для исключения вклада адсорбированной воды помещался в эксикатор с CaCl₂ и прогревался в течение 20–24 ч при температуре 120°C. Прогретую таблетку снимали во второй раз («образец после температурной обработки»). Идентификация полос поглощения проведена с использованием соответствующих руководств [1, 17, 22, 25].

Результаты и их обсуждение

Фракции гранулометрических элементов существенно различаются химическим составом (табл. 1).

Таблица 1

Химический состав фракций гранулометрических элементов чернозема типичного целинного, % [12]

Фракция	С	N	На прокаленную навеску				
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O
Пыль крупная	1.95	0.14	86.1	7.7	1.0	1.9	1.2
Пыль средняя	7.74	0.60	65.9	10.0	4.5	2.0	0.8
Пыль мелкая	9.90	0.81	52.9	13.8	6.9	2.1	0.7
Ил	7.35	0.64	45.5	16.9	9.4	2.0	0.4

По мере уменьшения размера частиц в них возрастает содержание органического углерода и азота, валового количества алюминия и железа, тогда как содержание кремния и натрия существенно уменьшается. При этом органический углерод и азот преимущественно локализованы во фракциях ила, средней и особенно мелкой пыли.

ИК-спектры фракций гранулометрических элементов чернозема имеют как сходства, так и определенные различия, обусловленные количеством и интенсивностью однотипных полос поглощения (рис. 1).

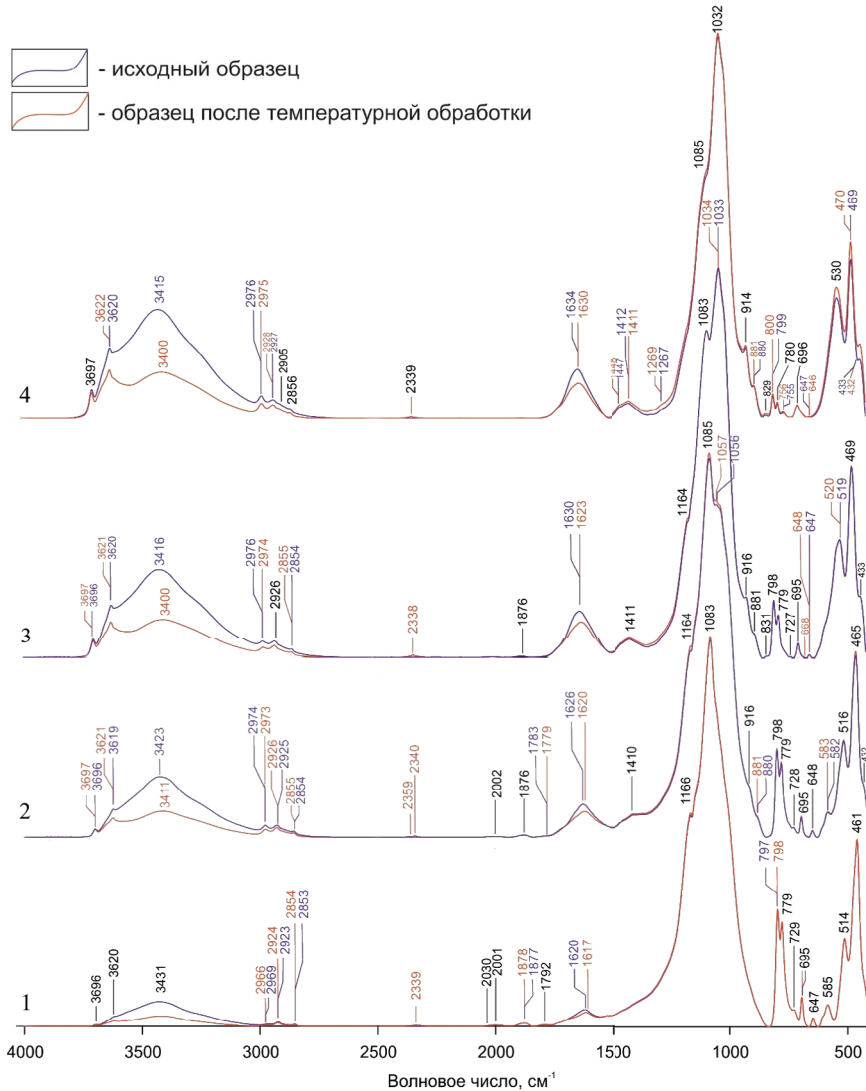


Рис. 1. ИК-спектры поглощения фракций гранулометрических элементов чернозема типичного целинного:

1 – крупная пыль; 2 – средняя пыль; 3 – мелкая пыль; 4 – ил

Самый простой ИК-спектр присущ фракции крупной пыли, на котором выделяется довольно ограниченное число полос поглощения, преимущественно имеющих слабую интенсивность (табл. 2).

Оптическая плотность полос поглощения ИК-спектров высушенных образцов фракций гранулометрических элементов чернозема типичного

Область, см ⁻¹	Фракции гранулометрических элементов			
	пыль крупная	пыль средняя	пыль мелкая	илистая
3697	-	0.02	0.03	0.06
3622–3620	-	0.04	0.07	0.10
3431–3400	0.03	0.06	0.08	0.10
2975–2973	-	0.02	0.02	0.03
2928–2924	0.01	0.02	0.02	0.03
2855	-	0.02	0.01	0.02
1878–1876	0.01	0.01	-	-
1630–1617	0.04	0.06	0.07	0.08
1448–1410	-	0.06	0.03	0.03
1269	-	-	-	0.03
1166–1164	0.60	0.38	0.28	-
1085–1083	1.09	0.77	0.66	0.50
1057–1032	-	0.68	0.79	0.78
916	-	0.11	0.12	0.15
881	-	0.04	0.04	0.07
829	-	-	-	0.01
800–798	0.33	0.19	0.11	0.04
780–779	0.29	0.16	0.09	0.03
728	0.05	0.02	-	-
696–695	0.08	0.04	0.02	0.02
647	0.02	0.02	-	-
585–583	0.06	0.06	-	-
530–514	0.25	0.20	0.24	0.24
470–461	0.52	0.38	0.39	0.32
432	-	0.11	0.12	0.16

Широкая и очень слабая полоса поглощения в области 3431 см^{-1} обусловлена группой ОН, связанной межмолекулярными водородными связями и валентными колебаниями групп NH органических соединений. Однако основной вклад в поглощение в этой области вносит гигроскопическая вода, о чем свидетельствует уменьшение интенсивности поглощения этой полосы практически в 2 раза в образце, высушенном при температуре 105°C .

Слабая по интенсивности полоса поглощения при 2924 см^{-1} проявляется за счет валентных асимметричных колебаний связи С–Н групп CH_2 алифатических структур органических веществ этой фракции.

При 1878 см^{-1} обнаруживается очень слабая полоса поглощения не очень ясно происхождения, скорее всего принадлежащая кварцу [34].

Довольно широкая и несколько более интенсивная, чем полосы поглощения в коротковолновой области, полоса поглощения при 1617 см^{-1} имеет сложную природу. Она может быть обусловлена группами С=C ароматических структур, карбоксилат-ионами (COO^-), полосой амид I, частично – гигроскопической водой.

Очень интенсивная полоса поглощения, обусловленная полисахаридами, проявляется при 1083 см^{-1} . Она является наиболее представительной на ИК-спектре фракции крупной пыли. На коротковолновом крыле этой полосы при 1166 см^{-1} отмечается слабо разрешившееся поглощение, вызываемое валентными колебаниями групп Si – O кварца.

Характерный дублет при 798 и 779 см^{-1} и более слабое поглощение при 695 см^{-1} также относятся к кварцу. С валентными колебаниями связи Si – O – Al(Si) плагиоклазов связаны слабые полосы поглощения при 729 и 647 см^{-1} . Этим же минералам принадлежит и несколько более сильное поглощение при 585 см^{-1} , проявляющееся за счет деформационных колебаний связи O – Si(Al) – O. Довольно интенсивная полоса поглощения при 461 см^{-1} обусловлена деформационными колебаниями связи O – Si – O кварца, полевых шпатов типа альбита и глинистых минералов. На ее коротковолновом крыле при 514 см^{-1} проявляется менее интенсивная полоса деформационных колебаний групп Si – O кварца и групп Si – O – Me^{VI} (Al, Mg, Fe) различных алюмосиликатов.

Характерной особенностью ИК-спектра фракции крупной пыли является отсутствие на нем полос поглощения в областях 1070 – 1030 и 945 – 910 см^{-1} , присущих глинистым минералам.

Таким образом, основные полосы поглощения на ИК-спектре фракции крупной пыли представлены полисахаридами, кварцем и полевыми шпатами. Полосы поглощения, характерные для гумусовых кислот и глинистых минералов, или не проявляются, или выражены весьма слабо.

Схожие ИК-спектры поглощения имеют фракции средней, мелкой пыли и ила, однако на них присутствуют полосы поглощения, отсутствующие на ИК-спектре фракции крупной пыли. Довольно широкая полоса средней интенсивности в области 3400 см^{-1} обусловлена группой ОН, связанной межмолекулярными водородными связями и валентными колебаниями группы NH. Однако преимущественно поглощение в этой области происходит за счет гигроскопической воды, о чем свидетельствует резкое уменьшение интенсивности поглощения в образцах, высушенных при температуре 105°C . Поглощение при 3400 см^{-1} у этих фракций в 2–3,3 раза интенсивнее, чем у фракции крупной пыли. На коротковолновом крыле этой полосы обнаруживаются слабые полосы поглощения при 3697 и 3622 – 3621 см^{-1} . Полоса поглощения при 3697 см^{-1} , отсутствующая на ИК-спектре фракции крупной пыли, обусловлена валентными колебаниями несвязанной группы ОН органических соединений типа спиртов, о чем свидетельствует исчезновение этой полосы поглощения

в прокаленных образцах почв [32]. Поглощение при 3622–3621 см^{-1} связано с валентными колебаниями групп Si – OH и Al – OH глинистых минералов (монтмориллонит, каолинит и др.).

Слабые, но отчетливо выраженные полосы поглощения при 2975–2973 см^{-1} отсутствующих на ИК-спектре фракции крупной пыли принадлежат валентным колебаниям связи C–H групп CH_3 алифатических структур органических веществ. Такое же слабое поглощение при 2926 и 2855 см^{-1} обусловлено валентными асимметричными колебаниями связи C–H групп CH_2 алифатических фрагментов органических веществ фракций, причем поглощение при 2855 см^{-1} на ИК-спектре фракции крупной пыли не проявляется. Незначительный вклад в поглощение в этих областях вносит и гигроскопическая вода.

При 1876 см^{-1} на ИК-спектре фракции средней пыли, как и на ИК-спектре крупнопылевой фракции, проявляется очень слабая полоса поглощения, относимая к кварцу, отсутствующая на ИК-спектрах фракций мелкой пыли и ила, которые в отличие от более крупных фракций в меньшей мере обогащены первичными минералами.

В области 1630–1620 см^{-1} проявляется довольно интенсивная широкая и сложная полоса поглощения, обусловленная связями C=C ароматических структур, карбоксилат-ионами (COO^-) и азотсодержащими группировками, частично гигроскопической водой. Обнаруживается она и в глинистых минералах. Интенсивность этой полосы у фракций мелкой пыли и ила в 1,3 и 2 раза сильнее, чем у фракций средней и крупной пыли, что, по-видимому, обусловлено более высоким содержанием специфических гумусовых веществ и глинистых минералов в этих фракциях.

Довольно широкие и слабые полосы поглощения в области 1411–1410 см^{-1} обусловлены плоскостными деформационными колебаниями связи C–H алифатических групп CH_2 , причем на ИК-спектре илистой фракции в этой области проявляются две полосы поглощения при 1448 и 1411 см^{-1} . Это может свидетельствовать о более высокой обогащенности фракции ила алифатическими органическими компонентами по сравнению с другими фракциями. Поглощение на ИК-спектре фракции крупной пыли в этой области отсутствует.

На ИК-спектре фракции средней пыли самая интенсивная полоса поглощения, принадлежащая полисахаридам, обнаруживается при 1085 см^{-1} . На крыльях этой интенсивной полосы присутствуют менее выраженные, не обособившиеся полосы поглощения при 1164 и 1057 см^{-1} . Слабовыраженное поглощение при 1164 см^{-1} на коротковолновом крыле полосы при 1085 см^{-1} вызывается валентными колебаниями групп Si – O кварца, а более отчетливо выраженное поглощение при 1057 см^{-1} обусловлено валентными колебаниями групп Si – O глинистых минералов.

На ИК-спектре фракции мелкой пыли наиболее интенсивная полоса поглощения приурочена к 1034 см^{-1} и обусловлена валентными колебаниями групп Si – O глинистых минералов. На коротковолновом крыле при 1083 см^{-1} проявляется довольно интенсивная и отчетливо выраженная полоса поглощения полисахаридов. На середине этого пика при 1164 см^{-1} присутствует слабо выраженное и проявляющееся в виде перегиба на кривой поглощение, вызываемое валентными колебаниями групп Si – O кварца.

На ИК-спектре илистой фракции самая интенсивная полоса поглощения, обусловленная валентными колебаниями групп Si – O глинистых минералов, проявляется при 1032 см^{-1} . На коротковолновом крыле этой интенсивной полосы при 1085 см^{-1} обнаруживается слабо выраженное и проявляющееся в виде перегиба на кривой поглощение, вызываемое полисахаридами, а очень слабое поглощение при 1269 см^{-1} свидетельствует о присутствии в этой фракции смешанослойных образований слюдисто-монтмориллонитового типа.

На ИК-спектрах фракций средней, мелкой пыли и ила у самого окончания длинноволнового крыла интенсивных полос поглощения в области $1085\text{--}1032\text{ см}^{-1}$ отмечаются довольно слабо выраженные полосы поглощения при 916 и 881 см^{-1} , а у илистой фракции – еще и при 829 см^{-1} . При этом поглощение в области 916 см^{-1} на ИК-спектре илистой фракции проявляется в виде отчетливо обособившегося пика, тогда как у фракции мелкой пыли – в виде уступа, а у фракции средней пыли – в виде перегиба на кривой. Вероятно, поглощение в этой области имеет сложную природу, поскольку может вызываться как деформационными колебаниями группы СНО альдегидов, так и деформационными колебаниями связи $\text{Al}^{\text{VI}}\text{--O--H}\dots\text{O}$ глинистых минералов типа монтмориллонита и каолинита.

Симптоматично, что на ИК-спектре фракции крупной пыли полосы поглощения при 1057 , 916 , 881 и 829 см^{-1} отсутствуют. Это может свидетельствовать о меньшей обогащенности фракции крупной пыли органическими веществами и глинистыми минералами по сравнению с остальными фракциями гранулометрических элементов.

Довольно значительное количество полос поглощения проявляется на ИК-спектрах фракций средней, мелкой пыли и ила чернозема в длинноволновой области в интервале $800\text{--}430\text{ см}^{-1}$.

Характерный дублет при 798 и 779 см^{-1} принадлежит кварцу, а более слабое поглощение при 695 см^{-1} можно отнести на счет деформационных колебаний группы Si--O не только кварца, но и таких глинистых минералов, как каолинит и монтмориллонит.

Как и у фракции крупной пыли, на ИК-спектре фракции средней пыли присутствует ряд полос поглощения, присущих плагиоклазам и отсутствующих на ИК-спектрах фракции мелкой пыли и ила. Выраженная в виде уступа слабая полоса поглощения при 728 см^{-1} и очень слабая полоса поглощения при 648 см^{-1} обусловлены валентными колебаниями связи Si--O--Al(Si) . Несколько более сильное поглощение при 585 см^{-1} проявляется за счет деформационных колебаний связи O--Si(Al)--O .

Одни из самых интенсивных на ИК-спектрах фракций средней, мелкой пыли и ила полосы поглощения приурочены к области $530\text{--}465\text{ см}^{-1}$. Обусловлены они валентными и деформационными колебаниями связей O--Si--O и Si--O--Si , которые можно отнести на счет кварца и полевых шпатов типа альбита. Также в этой области вероятно проявление деформационных колебаний групп $\text{Si--O--(Al, Mg)}^{\text{VI}}$ (монтмориллонит) и $\text{Si--O--Fe}^{\text{VI}}$ (нонтронит, биотит).

На коротковолновом крыле интенсивной полосы поглощения в области $470\text{--}465\text{ см}^{-1}$ на ИК-спектрах фракций средней, мелкой пыли и ила отмечается полоса поглощения при 432 см^{-1} , отсутствующая на ИК-спектре фракции крупной пыли. На ИК-спектрах фракций средней и мелкой пыли эта полоса поглощения выглядит в виде перегиба на кривой, а на ИК-спектре илистой фракции – в виде довольно отчетливого пика. Считается, что поглощение здесь может быть обусловлено деформационными колебаниями групп $\text{Al}^{\text{VI}}\text{--O--H}$ (каолинит), $\text{Fe}^{\text{VI}}\text{--O--H}$ (нонтронит), $\text{Si}^{\text{IV}}\text{--O--H}$ (слюды, монтмориллонит).

Итак, на ИК-спектрах фракций средней, мелкой пыли и ила присутствует больше полос поглощения по сравнению с ИК-спектром фракции крупной пыли. Основные полосы поглощения на ИК-спектрах этих трех фракций принадлежат полисахаридам, глинистым минералам, альдегидам и кварцу.

Таким образом, ИК-спектры фракций гранулометрических элементов чернозема имеют как сходства, так и различия. При этом наблюдается довольно тесная взаимосвязь размеров гранулометрических фракций и их химического и минералогического состава (рис. 2).

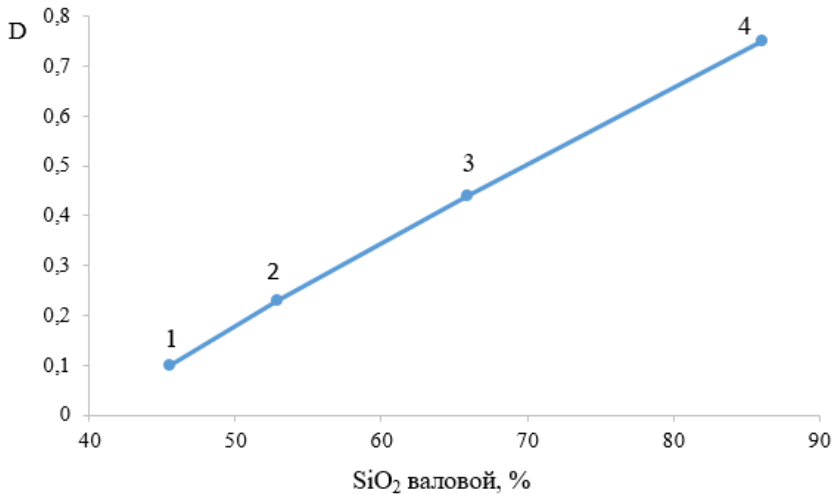


Рис. 2. Зависимость суммарной оптической плотности основных полос поглощения кварца и полевых шпатов от валового содержания SiO₂ в гранулометрических фракциях чернозема типичного:
 1 – илистая фракция; 2 – фракция мелкой пыли;
 3 – фракция средней пыли; 4 – фракция крупной пыли

По мере увеличения размера фракций и валового содержания SiO₂ возрастает величина суммарной оптической плотности основных полос поглощения, принадлежащих кварцу и полевым шпатам, которые преимущественно локализованы во фракциях крупной и средней пыли.

Общность ИК-спектров обусловлена тем, что значительное количество полос поглощения, свойственных индивидуальным минералам и препаратам гумусовых кислот, на них отсутствует. Такого рода данные были получены ранее для нерасчлещенных почвенных образцов [17, 33]. Это обусловлено активным взаимодействием органических и минеральных компонентов почвы, поскольку формирование органо-минеральных производных – обязательное звено любого типа почвообразовательного процесса [11]. В результате органо-минеральных взаимодействий происходит блокировка многих активных центров и функциональных групп компонентов, формирующих твердую фазу почвы, что отражается на их свойствах, в том числе на характере ИК-спектров. Сходство ИК-спектров обнаруживается и в расположении на них полос поглощения, большинство из которых приурочено к области 1600–400 см⁻¹, где проявляются наиболее интенсивные полосы поглощения при 1100 и 460 см⁻¹. При этом на всех ИК-спектрах самой интенсивной или одной из самых интенсивных является полоса поглощения полисахаридов. Наряду с этим ИК-спектры фракций гранулометрических элементов имеют и определенные различия, наиболее существенные из которых обнаруживаются при сопоставлении ИК-спектра фракции крупной пыли с ИК-спектрами фракций мелкой пыли и ила, причем различия между ними присущи практически всем участкам спектра.

В коротковолновой части ИК-спектра фракции крупной пыли отсутствуют полосы поглощения, присущие алифатическим CH₂ и CH₃ группам органических соединений и группам Si – OH и Al – OH глинистых минералов, которые на ИК-спектрах фракции мелкой пыли и ила хотя и имеют слабую интенсивность, но проявляются вполне отчетливо. Кроме того, полоса поглощения гигроскопической влаги в этой части спектра у фракции крупной пыли в 2,6–3,1 раза меньше по сравнению с фракциями мелкой пыли и ила.

В средней части спектра полоса поглощения, обусловленная связями C=C и другими важнейшими группировками гумусовых кислот и глинистыми минералами, на ИК-спектре фракции крупной пыли имеет в 1,8–2 раза меньшую интенсивность по сравнению с аналогичными полосами на ИК-спектрах фракций мелкой пыли и ила. Наряду с этим на ИК-спектре фракции крупной пыли отсутствуют приуроченные к этой области полосы поглощения алифатических структур гумусовых веществ, которые довольно отчетливо проявляются на ИК-спектрах фракций мелкой пыли и ила.

В длинноволновой области на ИК-спектрах гранулометрических фракций проявляются самые выразительные полосы поглощения, по существу определяющие внешний облик ИК-спектров и свидетельствующие о том, что гранулометрические фракции чернозема существенно различаются между собой по вещественному составу. В частности, на ИК-спектре фракции крупной пыли доминирующей является полоса поглощения, обусловленная полисахаридами, а полоса поглощения, наиболее характерная для глинистых минералов, отсутствует. На ИК-спектре фракции средней пыли также самой интенсивной является полоса поглощения, относимая к полисахаридам, однако в отличие от фракции крупной пыли довольно высокую интенсивность имеет и полоса поглощения, принадлежащая глинистым минералам. На ИК-спектрах фракций мелкой пыли и ила, наоборот, полоса поглощения, наиболее характерная для глинистых минералов, является самой интенсивной. Полоса поглощения, присущая полисахаридам, хотя и имеет большую интенсивность, не является доминирующей. Кроме того, на ИК-спектрах фракций мелкой пыли и ила отсутствует или проявляется с меньшей интенсивностью ряд полос поглощения, характерных для кварца и полевых шпатов.

Выводы

На ИК-спектрах фракций гранулометрических элементов чернозема типичного целинного присутствует сравнительно небольшой и однотипный набор полос поглощения разной интенсивности, многие из которых приурочены к длинноволновой части спектра. Однако на их основании удается установить сходства и различия вещественного состава фракций гранулометрических элементов чернозема. На ИК-спектрах фракций крупной и средней пыли самые интенсивные полосы поглощения принадлежат полисахаридам, а на ИК-спектрах фракций мелкой пыли и ила – глинистым минералам, тогда как полоса поглощения, принадлежащая полисахаридам, хотя и имеет большую интенсивность, занимает подчиненное положение. На всех ИК-спектрах присутствуют полосы поглощения, принадлежащие кварцу, полевым шпатам и гумусовым веществам.

Библиографический список

1. *Болдырев А.И.* Инфракрасные спектры минералов: М. – М.: Недра, 1976. – 199 с.
2. *Борисочкина Т.И., Кайданова О.В.* Тяжелые металлы во фракциях разной дисперсности почв природных и антропогенных ландшафтов (на примере Курского региона) // Проблемы региональной экологии. – 2021. – № 4. – С. 35–42. DOI: 10.24412/1728–323X-2021–4–35–42. EDN: LQOASS.
3. *Варламов Е.Б., Лебедева М.П., Чурилин Н.А., Чурилина А.Е.* Особенности профильного распределения минералов во фракциях разной размерности в солонце светлом корковом сухостепной зоны юга России // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. – 2018. – № 93. – С. 144–168. DOI: 10.19047/0136–1694–2018–93–144–168. EDN: XWPLTV.

4. Воробьева А.А., Доржиева О.В., Толпеица И.И. Применение ИК-спектроскопии для изучения трансформации биотита в почве // Глины и глинистые материалы: Материалы докладов. – М.: ИГЕМ РАН, 2019. – С. 239–241. EDN: VMWOXY.
5. Воронин А.Д. Основы физики почв: М. – М.: МГУ, 1986. – 224 с.
6. Заварзина А.Г., Кравченко Е.Г., Константинов А.И., Перминова И.В., Чуков С.Н., Демин В.В. Сравнение свойств препаратов гуминовых кислот, выделенных из почв щелочной экстракцией в присутствии и отсутствие кислорода // Почвоведение. – 2019. – № 8. – С. 910–922. DOI: 10.1134/S0032180X19080161. EDN: FKNZFM.
7. Игнатьева С.Л., Черников В.А., Кончиц В.А. Изучение влияния систем удобрения и обработки почвы на гумусовые кислоты дерново-подзолистой почвы с использованием ИК-спектроскопии // Известия ТСХА. – 2008. – Вып. 2. – С. 32–41. DOI: 10.31857/S0032180X22601153. EDN: НОСІІS.
8. Козут Б.М. Трансформация гумусового состояния черноземов при их сельскохозяйственном использовании // Почвоведение. – 1998. – № 7. – С. 794–802. EDN: SJVDRB.
9. Крылов В.А., Мамонтов В.Г., Лазарев В.И., Рыжков О.В. Влияние различного землепользования на элементный состав лабильных гумусовых веществ чернозема типичного Курской области // Почвоведение. – 2022. – № 8. – С. 981–989. DOI: 10.31857/S0032180X22080081. EDN: LYNCAM.
10. Латышева Л.А. Органическое вещество гранулометрических фракций и его роль в формировании морфогенетического своеобразия буроземов острова Русский // Известия Высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия «Естественные науки». – 2022. – № 4–2 (216–2). – С. 28–37. DOI: 10.18522/1026–2237–2022–4–2–28–37. EDN: PYXHWX.
11. Мамонтов В.Г. Общее почвоведение: Учебник. – 2-е изд. – М.: КНОРУС, 2023. – 554 с.
12. Мамонтов В.Г., Чинилин А.В., Рогова О.Б., Варламов Е.Б., Рыжков О.В. Особенности вещественного состава гранулометрических фракций чернозема типичного Курской области // Современное состояние черноземов: Материалы II Международной конференции. – Ростов-на-Дону; Таганрог, 2018. – С. 167–175. EDN: XZQСXB.
13. Мамонтов В.Г., Артемьева З.С., Лазарев В.И., Родионова Л.П., Крылов В.А., Ахмедзянова Р.Р. Сравнительная характеристика свойств целинного, пахотного и залежного чернозема типичного Курской области // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. – 2020. – № 101. – С. 182–201. DOI: 10.19047/0136–1694–2020–101–182–201. EDN: ADTVWD.
14. Овчиникова М.Ф. Изменение содержания, состава и свойств гумусовых веществ в гранулометрических фракциях дерново-подзолистых почв при длительном осушении // Почвоведение. – 2018. – № 6. – С. 693–703. DOI: 10.7868/S0032180X18060059. EDN: XQNGUH.
15. Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв: М. – М.: Изд-во Московского университета, 1974. – 335 с.
16. Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации: М. – М.: Изд-во Московского университета, 1990. – 324 с.
17. Орлов Д.С., Осипова Н.Н. Инфракрасные спектры почв и почвенных компонентов: М. – М.: Изд-во Московского университета, 1988. – 89 с.
18. Путеводитель почвенной экскурсии «Восточно-Европейская равнина. Лесостепная и степная зоны». – М.: Наука, 1974. – 95 с.
19. Роде А.А. Избранные труды. Т. 1. Теоретические проблемы почвоведения и вопросы генезиса почв. – М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева Россельхозакадемии, 2008. – 600 с.

20. *Розанов Б.Г.* Морфология почв: М. – М.: Академический проект, 2004. – 432 с.
21. *Самонова О.А., Асеева Е.Н., Касимов Н.С.* Распределение металлов по гранулометрическим фракциям в балочной почвенно-геохимической системе (Юго-Восточная часть Смоленско-Московской возвышенности) // Вестник Московского университета. Серия 5 «География». – 2018. – № 6. – С. 34–46. EDN: VTBOVL.
22. *Сильверстейн Р., Вебстер Ф., Кимл Д.* Спектрофотометрическая идентификация органических соединений: М. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014. – 557 с.
23. *Симонов Г.А.* Содержание и минералогический состав коллоидных и предколлоидных фракций в зональном ряду почв Европейской России // Почвоведение. – 2003. – № 6. – С. 722–732. EDN: OOITLX.
24. *Соколова Т.А., Толпешта И.И., Изосимова Ю.Г.* Подвижные соединения Al и Si в палево-подзолистых почвах Центрального лесного заповедника: содержание, распределение по профилю и гранулометрическим фракциям // Почвоведение. – 2017. – № 6. – С. 672–679. DOI: 10.7868/80032180X17040116. EDN: YTMAYN.
25. *Степанов И.С.* Применение метода инфракрасной спектроскопии в почвоведении: М. – М.: ВАСХНИЛ, Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 1976. – 71 с.
26. *Фокин А.Д.* Почва, биосфера и жизнь на Земле: М. – М.: Наука, 1986. – 176 с.
27. *Холодов В.А., Фарходов Ю.Р., Ярославцева Н.В., Айдиев А.Ю., Лазарев В.И., Ильин Б.С., Иванов А.Л., Куликова Н.А.* Термолабильное и термостабильное органическое вещество черноземов различного землепользования // Почвоведение. – 2020. – № 8. – С. 970–982. DOI: 10.31857/S0032180X20080080. EDN: ULXCEQ.
28. *Черников В.А.* Методы структурной диагностики органического вещества почв // Методы исследований органического вещества почв. – М.: Россельхозакадемия, ВНИПТИОУ, 2005. – С. 135–147.
29. *Черников В.А., Старых С.Э., Кончиц В.А.* Изменение состава гумусовых кислот дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы при длительном применении органических и минеральных удобрений // Известия ТСХА. – 1993. – Вып. 2. – С. 99–106.
30. Черноземы СССР: М. – М.: Колос, 1974. – Т. 1. – 560 с.
31. *Шаймухаметов М.Ш., Тутова Н.А., Травникова Л.С., Лабинец Е.М.* Применение физических методов фракционирования для характеристики органического вещества почв // Почвоведение. – 1984. – № 8. – С. 131–141. EDN: YVHKJV.
32. *Шумилова М.А., Петров В.Г.* ИК-спектроскопические исследования поглотительной способности почв Удмуртской Республики // Химическая физика и мезоскопия. – 2015. – Т. 17, № 1. – С. 132–137. EDN: TPCYZJ.
33. *Dick D.P., Santos J.H.Z., Ferranti E.M.* Chemical characterization and infrared spectroscopy of soil organic matter from two southern brazilian soils // Revista Brasileira de Ciência do Solo. – № 27 (1). – Pp. 29–39. DOI: 610.1590/s0100–06832003000100004.
34. *Janik L.J., Merry R.H., Forester S.T., Layon D.M., Rawson A.* Rapid prediction of soil water retention using mid infrared spectroscopy // Soil Science Society of America Journal. – 2007. – Vol. 71, № 2. – Pp. 507–514. DOI: 10.2136/sssaj2005.0391.
35. *Kelly S.D., Hesterberg D., Ravel B.* Analysis of soils and minerals using X-ray absorption spectroscopy // Method of soil analysis. Part 5. Soil Science Society of America. Madison. Wisconsin. – 2008. – Pp. 387–464.
36. *Nuzzo A., Buurman P., Cozzolino V., Spaccini R., Piccolo A.* Infrared spectra of soil organic matter under a primary vegetation sequence // Chemical and Biological Technologies in Agriculture. – 2020. – № 7:6. DOI: 10.1186/s40538–019–0172–1.
37. *Tinti A., Tugnoli V., Bonora S., Fransioso O.* Recent applications of vibrational mid-Infrared (IR) spectroscopy for studying soil components: a review // Journal of Central European Agriculture. – 2015. – Vol. 16. – Iss. 1. – Pp. 1–22. DOI: 10.5513/JCEA01/16.1.1535.

INFRARED ABSORPTION SPECTRA OF GRANULOMETRIC ELEMENT FRACTIONS OF TYPICAL VIRGIN CHERNOZEM OF THE KURSK REGION

V.G. MAMONTOV, S.A. BELYAEVA, K.A. SHMAKOVA

(Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy)

The fractions of granulometric elements isolated by the method of roiling from the humus-accumulative horizon A of the deep typical virgin chernozem of the Kursk Region were studied using infrared spectroscopy. According to the data obtained, the fractions of granulometric elements differ significantly in their material composition. The coarse dust fractions mainly consist of quartz, feldspar, polysaccharides and a small amount of specific humus substances. The fine dust fractions, and in particular the silt fraction, differ significantly in material composition from the coarse dust fractions. They are mainly composed not only of polysaccharides, but also of clay minerals, including alternating layer formations of the mica-montmorillonite type, a much higher amount of specific humus substances, and less quartz and feldspar. The medium dust fractions occupy an intermediate position in terms of material composition and are closer to the fine fractions than to the coarse dust fractions. The method of infrared spectroscopy makes it possible to reveal fundamental differences in the material composition between individual granulometric fractions. However, a number of specific features inherent to individual components of the soil solid phase are not apparent in the infrared spectra of granulometric fractions. This is due to the active interaction between the organic and mineral components of the soil. As a result of such interactions many active centers and functional groups are blocked and do not appear in the infrared spectra.

Key words: IR spectroscopy, granulometric fractions, humic substances, polysaccharides, quartz, feldspar, clay minerals, Haplic Chernozem (Loamic, Pachic).

References

1. Boldyrev A.I. Infrared spectra of minerals. Moscow: Nedra, 1976: 199. (In Rus.)
2. Borisochkina T.I., Kaydanova O.V. Heavy metals in fractions of different dispersity in soils of natural and anthropogenic landscapes (on the example of the Kursk region). *Problemy regional'noy ehkologii*. 2021; 4: 35–42. DOI: 10.24412/1728–323X-2021–4–35–42 . EDN: LQOASS (In Rus.)
3. Varlamov E.B., Lebedeva M.P., Churilin N.A., Churilina A.E. Features of the profile distribution of minerals in fractions of different dimensions in the light solonetz of the dry steppe zone of southern Russia. *Byulleten' Pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchaeva*. 2018; 93: 144–168. DOI: 10.19047/0136–1694–2018–93–144–168. EDN: XWPLTV (In Rus.)
4. Vorob'eva A.A., Dorzhieva O.V., Tolpeshta I.I. Application of IR spectroscopy to study the transformation of biotite in soil. *Gliny i glinistye materialy. Materialy Dokladdov*. M.: IGEM RAN, 2019; 239–241. EDN: VMWOXY (In Rus.)
5. Voronin A.D. Fundamentals of soil physics. M.: MGU, 1986: 224. (In Rus.)
6. Zavarzina A.G., Kravchenko E.G., Konstantinov A.I., Perminova I.V., Chukov S.N., Demin V.V. Comparison of the Properties of Humic Acids extracted from Soils by Alkali in the Presence and Absence of Oxygen. *Eurasian Soil Science*. 2019; 8: 910–922. DOI: 10.1134/S0032180X19080161. EDN: FKNZFM. EDN: FKNZFM (In Rus.)
7. Ignat'eva S.L., Chernikov V.A., Konchits V.A. Study of the effect of fertilization and tillage systems on humic acids in soddy-podzolic soil using IR spectroscopy. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2008; 2: 32–41. DOI: 10.31857/S0032180X22601153. EDN: HOCHIS (In Rus.)
8. Kogut B.M. Transformation of the humus state of chernozems during their agricultural use. *Eurasian Soil Science*. 1998; 7: 794–802. EDN: SJVDRB (In Rus.)

9. Krylov V.A., Mamontov V.G., Lazarev V.I., Ryzhkov O.V. Effect of different land use on the elemental composition of Labile Humic Substances in Chernozem Typical of the Kursk Region. *Eurasian Soil Science*. 2022; 8: 981–989. DOI:10.31857/S0032180X22080081. EDN: LYNCAM (In Rus.)
10. Latysheva L.A. Organic matter of granulometric fractions and its role in the formation of morphogenetic originality of burozems of Russky Island. *Bulletin of Higher Educational Institutions. North Caucasus Region. Natural Sciences*. 2022. 4–2 (216–2): 28–37. DOI:10.18522/1026–2237–2022–4–2–28–37. EDN: PYXHWX (In Rus.)
11. Mamontov V.G. *General soil science: textbook, 2nd edition*. M.: KNORUS, 2023: 554. (In Rus.)
12. Mamontov V.G., Chinilin A.V., Rogova O.B., Varlamov E.B., Ryzhkov O.V. Special characteristics of the material composition of granulometric fractions in typical chernozem of the Kursk region. *Sovremennoe sostoyanie chernozemov: materialy II Mezhdunarodnoi konferentsii*. Rostov-na-Donu; Taganrog, 2018: 167–175. (In Rus.)
13. Mamontov V.G., Artem'eva Z.S., Lazarev V.I., Rodionova L.P., Krylov V.A., Akhmedzyanova R.R. Comparative characteristics of the properties of virgin, arable and fallow chernozem typical of the Kursk region. *Byulleten' Pochvennogo instituta imeni V.V. Dokuchaeva*. 2020; (101): 182–201. DOI: 10.19047/0136–1694–2020–101–182–201. EDN: ADTVWD (In Rus.)
14. Ovchinnikova M.F. Changes in the content, composition and properties of humic substances in the granulometric fractions of soddy-podzolic soils during prolonged draining. *Eurasian Soil Science*. 2018; 6: 693–703. DOI: 10.7868/S0032180X18060059. EDN: XQNGUH (In Rus.)
15. Orlov D.S. *Soil humic acids*. M.: Izd-vo Mosk. un-ta, 1974: 335. (In Rus.)
16. Orlov D.S. *Soil humic acids and the general theory of humification*. M.: Izd-vo Mosk. un-ta, 1990: 324. (In Rus.)
17. Orlov D.S., Osipova N.N. *Infrared spectra of soils and soil components*. M.: Izd-vo Mosk. un-ta. 1988: 89. (In Rus.)
18. *Soil Excursion Guide “East European Plain. Forest-steppe and steppe zones”*. M.: Nauka, 1974: 95. (In Rus.)
19. Rode A.A. *Selected works. Vol. 1. Theoretical problems of soil science and issues of soil genesis*. M.: Pochvennyi institut im. V.V. Dokuchaeva Rossel'khozakademii, 2008: 600. (In Rus.)
20. Rozanov B.G. *Soil morphology*. M.: Akademicheskiiy proekt, 2004: 432. (In Rus.)
21. Samonova O.A., Aseeva E.N., Kasimov N.S. Distribution of metals by granulometric fractions in the beam soil-geochemical system (South-Eastern part of the Smolensk-Moscow Upland). *Lomonosov Geography Journal*. 2018. 6: 34–46. (In Rus.)
22. Sil'verstejn R., Vebster F., Kiml D. Spectrophotometric identification of organic compounds. M.: BINOM, Laboratoriya znaniy, 2014: 557. (In Rus.)
23. Simonov G.A. The content and mineralogical composition of colloidal and coarse clay fractions in the zonal soil sequence of European Russia. *Eurasian Soil Science*. 2003. 6: 722–732. (In Rus.)
24. Sokolova T.A., Tolpeshta I.I., Izosimova Yu.G. Extractable Al and Si compounds in pale-podzolic soils of the Central Forest Reserve: content and distribution along the profile and by size fractions. *Eurasian Soil Science*. 2017. 6: 672–679. DOI: 10.7868/80032180X17040116. EDN: YTMAYN (In Rus.)
25. Stepanov I.S. *Application of the infrared spectroscopy method in soil science*. M: VASKhNIL, Pochvennyi institut im. V.V. Dokuchaeva, 1976: 71. (In Rus.)
26. Fokin A.D. *Soil, biosphere and life on the Earth*. M.: Nauka, 198: 176. (In Rus.)
27. Kholodov V.A., Farkhodov Yu.R., Yaroslavtseva N.V., Aydiev A.YU., Lazarev V.I., Il'in B.S., Ivanov A.L., Kulikova N.A. Thermolabile and thermostable organic matter of chernozems under different land uses. *Eurasian Soil Science*. 2020. 8: 970–982. DOI: 10.31857/S0032180X20080080. EDN: ULXCEQ (In Rus.)

28. *Chernikov V.A.* Methods of structural diagnostics of soil organic matter. *Metody issledovaniy organicheskogo veshchestva pochv.* M.: Rossel'khozakademiya, VNIPTIOU, 2005: 135–147. (In Rus.)
29. *Chernikov V.A., Starykh S.E., Konchits V.A.* Changes in the composition of humic acids in soddy-podzolic heavy loamy soil with long-term use of organic and mineral fertilizers. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy.* 1993; 2: 99–106. (In Rus.)
30. Chernozems of the USSR. V. 1. M.: Kolos, 1974: 560. (In Rus.)
31. *Shaymukhametov M.Sh., Titova N.A., Travnikova L.S., Labinets E.M.* Application of physical fractionation methods to characterize soil organic matter. *Eurasian Soil Science.* 1984. 8: 131–141. EDN: YVHKJV (In Rus.)
32. *Shumilova M.A., Petrov V.G.* IR-spectroscopic studies of the absorption capacity of soils in the Udmurt Republic. *Chemical Physics and Mesoscopy.* 2015; 17; 1: 132–137. EDN: TPCYZJ (In Rus.)
33. *Dick D.P., Santos J.H.Z., Ferranti E.M.* Chemical characterization and infrared spectroscopy of soil organic matter from two southern Brazilian soils. *Revista Brasileira de Ciência do Solo.* 27 (1): 29–39. DOI:610.1590/s0100–06832003000100004
34. *Janik L.J., Merry R.H., Forester S.T., Layon D.M., Rawson A.* Rapid prediction of soil water retention using mid infrared spectroscopy. *Soil Science Society of America Journal.* 2007; 71; 2: 507–514. DOI:10.2136/sssaj2005.0391
35. *Kelly S.D., Hesterberg D., Ravel B.* Analysis of soils and minerals using X-ray absorption spectroscopy. Method of soil analysis. Part 5. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin, 2008: 387–464.
36. *Nuzzo A., Buurman P., Cozzolino V., Spaccini R., Piccolo A.* Infrared spectra of soil organic matter under a primary vegetation sequence. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture.* 2020. 7: 6. DOI:10.1186/s40538–019–0172–1
37. *Tinti A., Tugnoli V., Bonora S., Fransioso O.* Recent applications of vibrational mid-Infrared (IR) spectroscopy for studying soil components: a review. *Journal of Central European Agriculture.* 2015; 16; 1: 1–22. DOI:10.5513/JCEA01/16.1.1535

Мамонтов Владимир Григорьевич, д-р биол. наук, профессор кафедры почвоведения, геологии и ландшафтоведения, Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева; e-mail: mamontov1954@inbox.ru; тел.: (915) 313–35–68

Беляева Светлана Алексеевна, аспирант кафедры почвоведения, геологии и ландшафтоведения, Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева; e-mail: belyaevasa@rgau-msha.ru; тел.: (977) 866–03–42

Шмакова Кристина Алексеевна, аспирант, ассистент кафедры почвоведения, геологии и ландшафтоведения, Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева; e-mail: kshmakova@rgau-msha.ru; тел.: (985) 505–45–22

Vladimir G. Mamontov, DSc (Bio), Professor of the Department of Soil Science, Geology and Landscape Science, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya str., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: (915) 313–35–68; E-mail: mamontov1954@inbox.ru)

Svetlana A. Belyaeva, post-graduate student of the Department of Soil Science, Geology and Landscape Science, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya str., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: (977) 866–03–42; E-mail: belyaevasa@rgau-msha.ru)

Shmakova Kristina Alekseevna, post-graduate student, assistant of the Department of Soil Science, Geology and Landscape Science, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya str., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: (985) 505–45–22; E-mail: kshmakova@rgau-msha.ru)