

УДК 550.4.08

И. В. Алексашкин¹
Т. В. Бобра²
В. В. Дубас³

**Исследование неорганической
составляющей черноземов предгорных
Белогорского района Республики Крым
методом ИК-спектроскопии**

ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет
имени В. И. Вернадского», Таврическая академия
(структурное подразделение), г. Симферополь,
Республика Крым, Российская Федерация
e-mail: aligor@rambler.ru¹, tvbobra@mail.ru²,
victoriadubas@gmail.com³

Аннотация. Настоящая работа направлена на изучение качественного неорганического состава черноземов предгорных, широко распространенных в пределах Белогорского района Республики Крым. Для выявления особенностей компонентного состава анализируемых почв, происходящих в их пределах миграционных процессов и образование геохимических барьеров, применялся метод ИК-спектроскопии, позволяющий в кратчайшие сроки получить необходимые для настоящих целей сведения. В ходе проведенных исследований было изучено четыре почвенных разреза заложенных в пределах следующих сельских поселений: Ароматновского, Зеленогорского, Криничненского и Крымскорозовского. Выявлено наличие в составе всех почвенных профилей и каждого горизонта в их пределах, следующих минералов: кварц, кальцит, монтмориллонит и каолинит. Идентификация указанных минералов производилась путем соотнесения установленных характеристических полос пропускания для того или иного минерала с функциональными группами. Для всех полученных ИК-спектров характерно наличие нескольких областей пропускания: в высокочастотной области (360–3700 см⁻¹) обнаруживаются валентные колебания ОН-групп в глинистых минералах, а полосы около 1400 см⁻¹ и 712 см⁻¹ отвечают валентным и деформационным колебаниям С-О связей в минералах группы карбоната кальция — кальцита. Колебания кремнекислородного каркаса (Si-O(-Si) связи) соответствуют на ИК-спектрах полосам около 1000 см⁻¹ и в области 500–400 см⁻¹. Качественные отличия в составе анализируемых почв наблюдаются лишь в пределах глинистой фракции почв. Наиболее благоприятными для образования геохимических барьеров почвенными горизонтами являются: С_{ca} горизонт всех исследуемых почв — сорбционные барьеры, D_{ca} горизонт почвенных профилей №1 (Ароматновское СП) и №4 (Криничненское СП) — щелочные барьеры. Интенсивность миграции твердых минеральных частиц и сорбции сопутствующих им катионогенных и анионогенных элементов в пределах почвенного профиля зависит от эндогенных и экзогенных условий окружающей среды. В частности, все анализируемые почвы являются в разной степени щелочными, что в таких условиях предопределяет повышенную миграционную активность анионогенных и аккумуляцию катионогенных элементов.

Ключевые слова: черноземы предгорные, ИК-спектроскопия, миграция, геохимические барьеры, глинистые минералы, карбонаты кальция, силикаты.

Введение

Современное почвоведение остро нуждается в методах, позволяющих в кратчайшие сроки определять структуру и состав почв, обладая при этом высокой точностью, экологичностью и относительной дешевизной. Представленным требованиям в достаточной мере соответствует метод инфракрасной спектроскопии (ИКС).

ИК-спектральный анализ почв в значительно упрощает качественное определение их минералогического состава и почвообразующих пород, а также закономерностей их распределения по почвенному профилю, при этом предварительно исследуемый объект не разрушая. Полученные результаты о перераспределении минеральных веществ и функциональной роли глинистых пород в почвах целесообразно применять при решении задач, связанных с повышением уровня плодородия, к примеру, при выборе и внесении различных видов удобрений и связанных с ними процессом фиксации различных химических элементов (экотоксикантов и микроэлементов) на геохимических барьерах.

Цель — изучение особенностей миграции неорганического вещества по почвенному профилю, его накопления и образования геохимических барьеров в черноземах предгорных распространённых на территории Белогорского района, Республики Крым методом ИКС.

Для реализации поставленной цели в работе решаются следующие задачи:

- 1) выявление особенностей вертикальной миграции различных минеральных соединений и почвенной влаги, содержащихся в пределах почвенного профиля;
- 2) установление целесообразности применения ИКС в качестве метода экспресс-анализа почв.

Объектом исследования в данной работе выступают черноземы предгорные, приуроченные к пологим участкам территории в пределах Белогорского района. Предмет исследования — особенности миграции неорганических веществ в почве и условия образования геохимических барьеров.

Об исследовании миграционных процессов и образовании геохимических барьеров в почвах рассматриваемым методом малоизвестно не только в пределах Российской Федерации, но и во всем мире. В последнее время, большинство авторов в исследовании почв методом ИКС акцентируют свое внимание на их органической составляющей [1; 2], различных микробиологических исследованиях [3], структуре и свойствах глинистых минералов [4; 5]. Поэтому нами в ходе написания настоящей статьи использовались материалы различной научной направленности, содержащие части необходимых для нас сведений.

Материалы и методы

В Белогорском районе Республики Крым черноземы предгорные распространены повсеместно, протягиваясь сплошной полосой с запада на юго-восток в пределах от внешней гряды Крымских гор на севере до главной гряды Крымских гор на юге. Все почвы представлены остаточно-карбонатными родами [6]. Отбор проб производился в летний период 2018-2019 гг., на территории следующих сельских поселений (СП):

- Ароматновского (~1 км юго-западнее одноименного села);
- Зеленогорского (~100 м северо-восточнее одноименного села);

- Криничненского (~300 м западнее с. Кирпичное);
- Крымскорозовского (~250 м восточнее с. Вишневое).

Все исследуемые почвы сформированы под лугово-степной растительностью с преобладанием разнотравья. Морфологическое строение каждого из почвенных профилей отражено в табл. 1.

Таким образом, в районе исследования выявлены следующие разновидности почв:

- профиль № 1 соответствует чернозему предгорному остаточнокarbonатному среднemoshному легкоглинистому слабощебнистому на глинисто-щебнистом делювии, подстилаемым плотным известняком с глубины 97 см;
- профиль № 2 соответствует чернозему предгорному остаточнокarbonатному среднemoshному слабосмытому легкоглинистому слабокаменисто-щебнистому на глинисто-щебнистом делювии;
- профиль № 3 соответствует чернозему предгорному остаточнокarbonатному среднemoshному тяжелосуглинистому слабощебнистому на верхнемеловых альбских глинах;
- профиль № 4 соответствует чернозему предгорному остаточнокarbonатному среднemoshному легкоглинистому слабощебнисто-каменистому на глинистом делювии (плотный известняк с глубины 83 см).

Таблица 1
Морфологическая характеристика почвенных профилей, заложенных в Белогорском районе Республики Крым

Горизонт	Почвенные профили			
	№1 (Ароматновское СП)	№2 (Крымскорозовское СП)	№3 (Зеленогорское СП)	№4 (Криничненское СП)
1	2	3	4	5
Ad	(0-3 см) дернина, полевое разнотравье	(0-5 см) дернина, полевое разнотравье	(0-5 см) дернина, полевое разнотравье	(0-3 см) дернина, полевое разнотравье
A	(3-56 см) гумусовый, темно-серый, комковато-зернистый, прочно связанный мелкими корнями, уплотненный	(5-52 см) гумусовый, темно-серый, комковато-зернистый, свежий, связанный мелкими корнями, уплотнен	(5-54 см) гумусовый, темно-серый, комковатый, свежий, корешки, уплотненный	(3-40 см) гумусовый, темно-серый, комковато-зернистый, свежий, корешки, уплотнен
AB _{Ca}	(56-67 см) нижний гумусовый, переходный, темно-серый с бурыми пятнами, комковато-ореховатый, свежий, уплотненный	(52-63 см) нижний гумусовый, переходный, с темно-серыми гумусовыми потеками, комковатый, свежий, уплотненный	(54-58 см) нижний гумусовый, переходный, темно-серый с буроватым оттенком, комковато-ореховатый, свежий, уплотненный	(40-58 см) нижний гумусовый, переходный, с темно-серыми гумусовыми потеками, комковатый, свежий, уплотненный
B _{Ca}	(67-81 см) переходный, темно-серый, к низу с палевым оттенком, комковатый, свежий, плотный, с единичн. включениям галечника	(63-76 см) переходный, темно-серый с буроватым оттенком к низу, комковатый, свежий, плотный	(58-78 см) переходный, темно-серый с буроватым оттенком, комковатый, свежий, плотный	(58-75 см) переходный, темно-серый с буроватым оттенком к низу, комковатый, свежий, плотный

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5
C_{Ca}	(81-97 см) почвообразующая порода, палевая, плотная, свежая глина с частыми включен. галечника и щебня	(76 - ... см) почвообразующая порода, бурая, плотная, свежая глина с единичными включ. камня и щебнем	(78 - ... см) почвообразующая порода, бурая, плотная, свежая глина	(75-83 см) почвообразующая порода, суглинок с незначительными включениями щебня и камня
D_{Ca}	материнская порода, плотный известняк с глубины 97 см	-	-	материнская порода, плотный известняк с глубины 83 см

Составлено авторами

Инфракрасный спектральный анализ отобранных проб проводился с помощью ИК-Фурье спектрофотометра Spectrum Two, производства компании PerkinElmer, в диапазоне $4000-400 \text{ см}^{-1}$. Так как частицы почв обладают размерами, превышающими длину волны ИК-излучения, образцы массой около 2 мг предварительно растирали до состояния мелкодисперсного порошка. В зависимости от избранной методики подготовки образцов к анализу, рекомендуют создавать суспензию в вазелиновом масле или прессовать таблетки с KBr. Однако применять данные методики с почвенными образцами нецелесообразно ввиду возможности вступления их соединений в химические реакции с KBr и предельных углеводов ($C_{10}-C_{15}$), а также сильного поглощения в области валентного и деформационного колебаний C-H групп вазелиновым маслом и OH-групп (H_2O) бромидом калия. Кроме того в ходе прессования таблеток существует вероятность изменения структуры кристаллических веществ и как следствие некорректность получаемых ИК-спектров и данных при их интерпретации. Поэтому спектры ИК-пропускания нами фиксировались с образцами исходных веществ, растертых в мелкодисперсный порошок, пренебрегая последней рекомендованной стадией пробоподготовки.

Результаты и обсуждение

Для всех полученных ИК-спектров образцов целесообразно выделять несколько областей пропускания характерных для неорганических соединений: валентные ($3750-2000 \text{ см}^{-1}$) и деформационные ($1600-900 \text{ см}^{-1}$) колебания O-H групп, колебания C-O связей проявляются в пределах $1450-1410 \text{ см}^{-1}$ и $880-860 \text{ см}^{-1}$, $750-710 \text{ см}^{-1}$, колебания Si-O связей обнаруживаются в области $1250-830 \text{ см}^{-1}$ и $500-400 \text{ см}^{-1}$ соответственно [7]. Особенностью идентификации минералов среди группы карбонатов кальция является положение третьей полосы пропускания соответствующей деформационным колебаниям C-O связей, где пик при $715 \pm 5 \text{ см}^{-1}$ обуславливается наличием в составе исследуемого образца кальцита ($CaCO_3$).

Наличие полосы пропускания в высокочастотной области (около 3620 см^{-1}) соответствует валентным колебаниям соединений Al-Al-OH, а полосы пропускания около $915 \pm 5 \text{ см}^{-1}$ характерны для деформационных колебаний той же группы. Пик пропускания около 1000 см^{-1} во всех образцах отвечает Si-O-Si

группе обладающей слоистой структурой дисиликатного типа. Представленные полосы поглощения предопределяют наличие в составе анализируемых образцов глинистых частиц с основным минералом монтмориллонитовой группы. О существовании в пределах одного образца разных минералов группы силикатов свидетельствуют дополнительные полосы, расположенные в низкочастотной области, где дублет расположенный около $777-795 \pm 5 \text{ см}^{-1}$, а также полосы в интервале $695 \pm 5 \text{ см}^{-1}$ и $520 \pm 5 \text{ см}^{-1}$ принадлежат колебаниям Si-O связей в кварце ($\alpha\text{-SiO}_2$).

Отдельно следует отметить наличие полос поглощения в интервале $3\ 500-3\ 300 \text{ см}^{-1}$ и $1\ 680-1\ 580 \text{ см}^{-1}$, которые характерны для валентных и деформационных колебаний OH-групп свободной и связанной воды [7; 8], при чем положение полосы пропускания в области валентных колебаний может значительно варьировать в зависимости от вещества в состав которого входят OH-группы и их состояния.

Наличие полос пропускания около $830 \pm 5 \text{ см}^{-1}$ в некоторых представленных образцах может соответствовать деформационным колебаниям Fe-OH в таких минералах как гетит и гиббсит, так как для различных соединений железа с O- и OH- группами характерно наличие полос пропускания в области $3400-3000 \text{ см}^{-1}$ для валентных колебаний, а для деформационных — $900-700 \text{ см}^{-1}$ и $< 700 \text{ см}^{-1}$ [9]. Однако полностью утверждать о выявленных соединениях железа с помощью ИКС нельзя, что связано с их положением в одной области с H-O-H связями воды, являющимися более сильными и таким образом перекрывая их делают невидимыми для определения.

В целом все полученные ИК-спектры образцов почвенного материала аналогичны друг другу и отличаются лишь интенсивностью поглощения. Согласно закону Бугера-Ламберта-Бера оптическая плотность прямо пропорциональна концентрации того или иного вещества в составе исследуемого образца, что позволяет проследить в почве изменение с глубиной концентрации веществ, в состав которых входят соединения установленных выше функциональных групп без определения их точного количества. Основные различия между почвенными профилями кроются лишь в почвообразующих и подстилающих породах, которые значительно отличаются от общего количества ИК-спектров не только интенсивностью, но и отсутствием или наличием различных функциональных групп. Все эти особенности отражены для каждого из почвенных профилей на рисунках ниже.

ИК-спектры почвенных профилей № 1 и № 4 (рис. 1), характеризуются сходным составом и строением разреза (табл. 2). Минералогический состав гумусовых (А-В) горизонтов представлен вторичными глинистыми фракциями смектитового типа, а также кальцитом и кварцем. Почвообразующая порода, представленная в рассматриваемых профилях глиной с редкими включениями галечника, камня и щебня известняка, характеризуется наличием в разрезе № 1 — монтмориллонита, а в разрезе №4 сочетанием нескольких глинистых минералов с разными структурами — монтмориллонита (структура 2:1) и каолинита (структура 1:1).

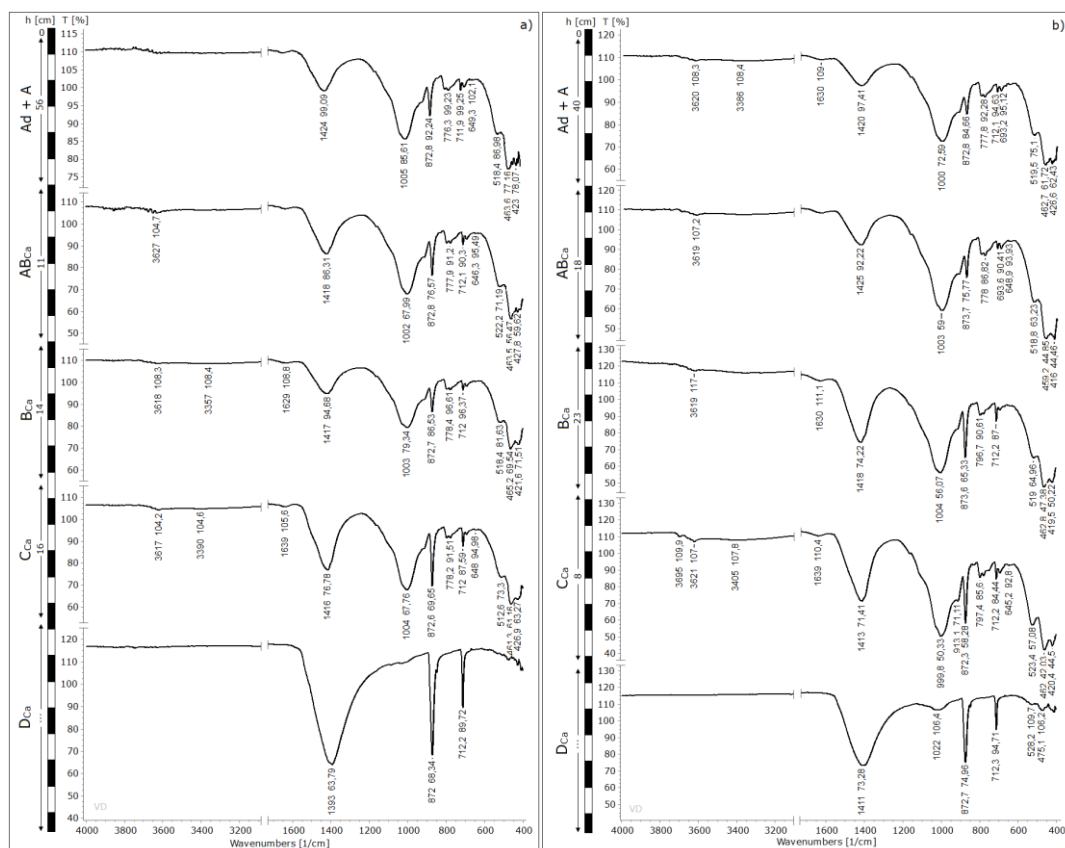


Рис. 1. ИК-спектры почвенных разрезов: а) №1 (Ароматовское СП), б) №4 (Криниченское СП)

Составлено авторами

Таблица 2

Соотнесение полос пропускания с функциональными группами по горизонтам почвенных профилей №1 и №4

Функциональная группа	Волновое число в см ⁻¹									
	Почвенный разрез №1					Почвенный разрез №4				
	Ad+A	AB _{Ca}	B _{Ca}	C _{Ca}	D _{Ca}	Ad+A	AB _{Ca}	B _{Ca}	C _{Ca}	D _{Ca}
ν (Al,Fe,Mg)-OH	-	-	-	-	-	-	-	-	3695	-
ν Al-Al-OH	-	3627	3618	3617	-	3620	3619	3619	3621	-
δ Al-Al-OH	~915 (плечо)					~915 (плечо)				
ν H-O-H	-	-	3357	3390	-	3386	-	-	3405	-
δ H-O-H	-	-	1629	1639	-	1630	-	1630	1639	-
ν C-O в CaCO ₃	1424	1418	1417	1416	1393	1420	1425	1418	1413	1411
ν Si-O	1005	1002	1003	1004	-	1000	1003	1004	1000	1022
δ C-O в CaCO ₃	873	873	873	873	872	873	874	874	872	873
	712	712	712	712	712	712	712	712	712	712
ν Si-O в SiO ₂	794	796	796	796	-	796	796	796	797	-
	776	778	778	778	-	778	778	778	779	-
δ Si-O	693	694	693	693	-	-	-	-	-	-
	518	522	518	513	-	520	519	519	523	528
δ Si-O-(Si)	649	646	-	648	-	646	649	-	645	-
δ Si-O-(Si,Al,Mg)	564	464	465	461	-	463	459	463	462	475
δ Si-O	423	428	422	427	-	427	416	420	420	413

Составлено авторами

По сравнению с гумусовыми горизонтами (разрезов № 1 и № 4) в почвообразующей породе наблюдается увеличение степени карбонатности, которая достигает своего максимума в подстилающей породе — плотном известняке. Наиболее чистым от силикатных примесей из двух представленных к анализу образцов породы является образец из почвенного разреза № 1, в котором полностью отсутствуют полосы пропускания характерные для Si-O связей. В минералогическом отношении оба образца являются кальцитом.

Незначительное качественное и количественное отличие от представленных выше ИК-спектральных характеристик почвенных профилей имеют разрезы № 2 и № 3 (рис. 2), заложенные в пределах Крымскорозовского и Зеленогорского СП. Минералогический состав гумусовых (А-В) горизонтов в данных почвенных разрезах представлен, как и в предыдущих профилях вторичными глинистыми фракциями смектитового типа, а также кальцитом и кварцем.

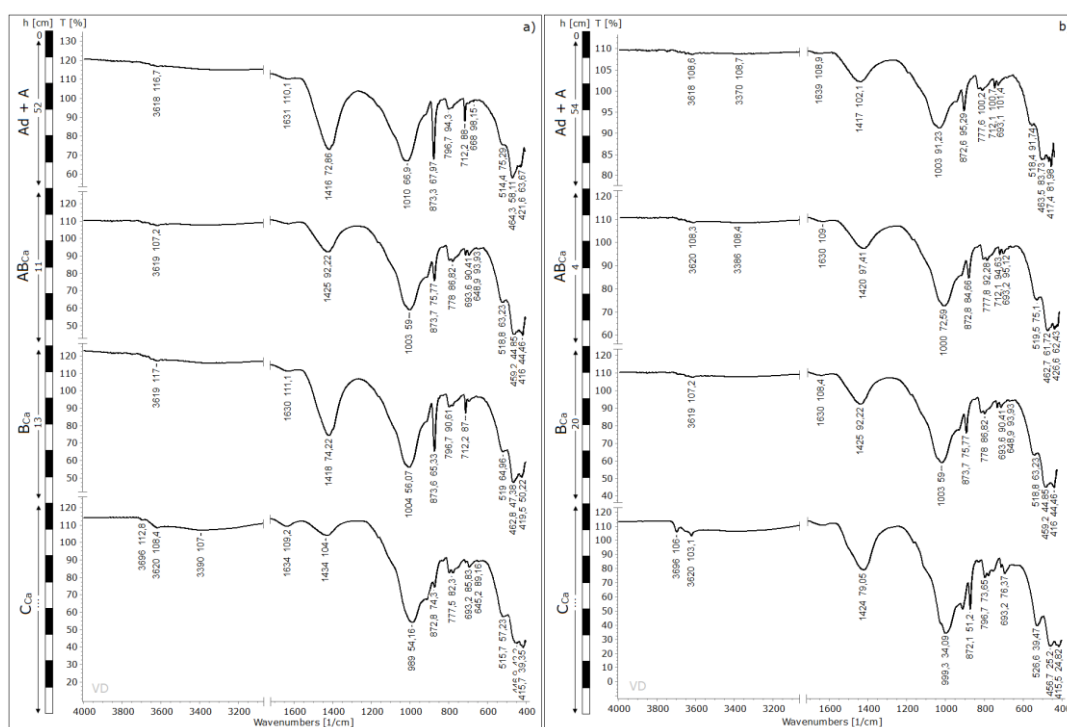


Рис. 2. ИК-спектры почвенных разрезов: а) № 2 (Крымскорозовское СП), б) № 3 (Зеленогорское СП)

Составлено авторами

Подстилающая порода в почвенных разрезах № 2 и № 3 представлена глинами переходного монтмориллонит-каолинитового типа, о чем свидетельствует наличие двух отчетливых пиков пропускания ($3\,620\text{ см}^{-1}$ и $3\,696\text{ см}^{-1}$) расположенных в области валентных колебаний ОН-групп. В пределах настоящих горизонтов выделяется также ряд минералов группы силикатов — кварц и группы карбонатов кальция — кальцит. При этом особое внимание следует уделить установлению закономерности изменения степени карбонатности в почвенном разрезе № 2. Скачкообразные изменения в интенсивности характеристической для карбонатов кальция полосы пропускания ($1\,420 \pm 10\text{ см}^{-1}$) можно объяснить наличием поверхностного камня и щебня, что отражается на повышенной карбонатности в гумусовом (А) горизонте, аналогичное объяснение,

но адаптированное с учетом глубины можно применить и к выявленной повышенной карбонатности в подгумусовом (В) горизонте.

Результаты качественного ИК-спектрального анализа образцов почвенного материала и горных пород, отобранных в пределах Крымрозовского и Зеленогорского СП, представлены в таблице 3.

Таблица 3

Соотнесение полос пропускания с функциональными группами по горизонтам почвенных профилей №2 и №3

Функциональная группа	Волновое число в см ⁻¹							
	Почвенный разрез №2				Почвенный разрез №3			
	Ad+A	AB _{Ca}	B _{Ca}	C _{Ca}	Ad+A	AB _{Ca}	B _{Ca}	C _{Ca}
ν (Al,Fe,Mg)-OH				3696				3696
ν Al-Al-OH	3618	3619	3619	3620	3618	3620	3619	3620
δ Al-Al-OH	~915				~915			
ν H-O-H	-	-	-	3390	3370	3386	-	-
δ H-O-H	1631	-	1630	1634	1639	1630	1630	-
ν C-O в CaCO ₃	1416	1425	1418	1434	1417	1420	1425	1424
ν Si-O	1010	1003	1004	989	1003	1000	1003	999
δ C-O в CaCO ₃	873	874	874	873	873	873	874	872
	712	712	712	712	712	712	712	712
ν Si-O в SiO ₂	797	796	797	796	796	796	796	797
	779	778	779	778	778	778	778	779
δ Si-O	-	694	-	693	693	693	694	693
	514	519	519	516	518	520	519	527
δ Si-O(-Si)	668	649	-	645	-	-	649	-
δ Si-O-(Si,Al,Mg)	464	459	463	447	464	463	459	457
δ Si-O	422	416	420	416	417	427	416	416

Составлено авторами

Наиболее благоприятными для образования высокеемких сорбционных геохимических барьеров в анализируемых выше разновидностях почв выступают почвообразующие глинистые породы в пределах которых в ходе механической миграции вниз по профилю скапливаются частицы кальцита и кварца, а также поглощаемые и прочно удерживаемые в составе глинистых минералов сопутствующие мигрирующим минералам как катионогенные, так и анионогенные химические элементы. В результате повышенной карбонатности наблюдаемой в почвах с дневной поверхности, условия почвенной среды в зависимости от глубины являются в разной степени щелочными, а повышенной миграционной активностью в таких условиях обладают анионогенные (V^{5+} , As^{5+} , Mo, Cr и др.) элементы. Подстилающая анализируемые почвы карбонатная порода может выступать в качестве щелочного геохимического барьера, на котором способны аккумулироваться большинство ионов металлов, в том числе неподвижные или малоподвижные в щелочной среде (Fe, Zn, Cu, Ni, Pb и др.).

Роль образующихся в почве геохимических барьеров имеет двойное значение. С положительной точки зрения, они способствуют повышению геохимической устойчивости почв, что обуславливается трансформацией в результате различных физико-химических процессов, скапливающихся макро- и микроэлементов, являющихся в большинстве своем токсическими для живых

организмов в малоподвижные и недоступные для растительности и дальнейшей миграции по трофическим цепям формы. Негативной стороной образующихся в почвах геохимических барьеров является аккумуляция в достаточно больших количествах на малых участках пространства различных экотоксикантов, что в случае неправильного подхода к их использованию может привести к активизации миграционных процессов и загрязнению смежных сред.

Выводы

При изучении черноземов предгорных распространенных в пределах Белогорского района Республики Крым значительных отличий в ИК-спектрах неорганической части почвенных горизонтов выявлено не было. Всем образцам присущ практически одинаковый набор неорганических веществ, представленных такими минералами и горными породами как: кальцит, кварц, а также глина, состоящая из монтмориллонита и каолинита. В большинстве почвенных горизонтов всех образцов выделяется свободная и химически связанная вода.

Перемещение по профилю ионов Ca^+ может осуществляться в двух формах: в твердой (в виде частиц, обломков кальцита) и ионной. Аккумуляция обуславливается наличием щелочных и сорбционных барьеров. Глинистые частицы являются хорошими сорбентами и способствуют накоплению в своей кристаллической решетке различных химических элементов, выступая в качестве сорбционных геохимических барьеров.

Для образцов из почвенных профиле № 1 (Ароматновское СП) и № 4 (Криничненское СП) присуще образование щелочных геохимических барьеров на стыке горизонтов почвообразующей породы (C_{Ca}) и подстилающей (материнской) породы (D_{Ca}). Во всех исследуемых почвах возможно также образование сорбционного геохимического барьера на границе контакта глины и материнской породы. Сорбционная емкость образующихся геохимических барьеров напрямую зависит от преобладания в составе глины того или иного минерала. Так, глина смектитого типа способна поглощать большее количество ионов, чем каолиновая. Такая особенность связана со строением кристаллической решетки и ее способности раздвигаться под внешним воздействием. Низкая по сравнению с монтмориллонитом сорбционная емкость каолинита объясняется отсутствием постоянного заряда внутри кристаллической решетки, что приводит к неспособности осуществлять межпакетную сорбцию различных ионов.

Однако, не смотря на видимое множество преимуществ ИКС перед другими методами, на данном этапе изучения существуют и некоторые его недостатки. Одним из таких недостатков можно считать склонность к перекрытию более интенсивными полосами пропускания отвечающих различным функциональным группам, других менее интенсивных, принадлежащих веществам с более низкой концентрацией. Это также справедливо и для исследований водной миграции веществ, что обусловлено значительной поляризованностью молекул ОН-групп перекрывающих полосы поглощения, которые соответствуют менее поляризованным молекулам. Вследствие чего невозможно проследить по ИК-спектрам миграцию неорганических веществ с грунтовыми водами.

Литература

1. Margenot, A. J., Parikh, S. J., Calderón, F. J. Improving Infrared Spectroscopy Characterization of Soil Organic Matter with Spectral Subtractions. J. Vis. Exp. (143), e57464, doi:10. 3791/57464 (2019).
2. Nuzzo A., Buurman P., Cozzolino V. et al. Infrared spectra of soil organic matter under a primary vegetation sequence. Chem. Biol. Technol. Agric. 7, 6 (2020). URL: <https://doi.org/10.1186/s40538-019-0172-1>
3. Mondal, Bhabani & Sekhon, Bharpoor & Sharma, Sandeep & Singh, Manjeet & Sahoo, Rabi & Barman, Arijit & Sinha, Yagani & Chattopadhyay, Arghya & Banerjee, Koushik. (2017). VIS-NIR Reflectance Spectroscopy for Assessment of Soil Microbiological Properties. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. 6. 719-728. doi:10.20546/ijcmas.2017.612.075.
4. Четверикова А. Г., Маряхина В. С Исследования полиминеральной глины, содержащей трехслойные алюмосиликаты физическими методами. Вестник Оренбургского гос. ун-та, 2015. № 1 (176). С. 250–255.
5. Ritz M, Vaculíková L, Plevová E. Identification of clay minerals by infrared spectroscopy and discriminant analysis // Applied spectroscopy. 2010. Vol. 64 (12). PS. 1379–1387.
6. Атлас. Автономная Республика Крым. Киев-Симферополь, 2003. 76 с.
7. Плюснина И. И. Инфракрасные спектры минералов М. : Изд-во Моск. Ун-та, 1976. 175 с.
8. Thompson J. (2018) Infrared Spectroscopy. Pan Stanford Publishing, P. 211.
9. Margenot A. J., Caldero ´n F. J., Goynes K. W., Mukome F. N., Parikh S. J. (2017) IR Spectroscopy, Soil Analysis Applications. Encyclopedia of Spectroscopy and Spectrometry, Third Edition, vol. 2, P. 448–454.

I. V. Aleksashkin,
T. V. Bobra,
V. V. Dubas

The study of the inorganic component of the chernozems of foothill Belogorsky district of the Republic of Crimea by the method of FTIR-spectroscopy

V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Taurida Academy,
Simferopol, Republic of Crimea, Russian Federation
e-mail: aligor@rambler.ru¹, tvbobra@mail.ru²,
victoriadubas@gmail.com³

Abstract. This work is aimed at studying the qualitative inorganic composition of chernozems of foothills, widespread within the Belogorsky district of the Republic of Crimea. To identify the features of the component composition of the analyzed soils occurring within their boundaries of the migration processes and the formation of geochemical barriers, the IR spectroscopy method was used, which made it possible to obtain the information necessary for these purposes as soon as possible. In the course of the research, four soil sections were studied, which were established within the following village settlements: Aromatnovsky, Zelenogorsky, Krinichnensky and Krymskorozovsky. The presence of the following minerals in the composition of all soil profiles and each horizon within their boundaries has been established: quartz, calcite, montmorillonite and kaolinite. Identification of these minerals was carried out by

correlating the established characteristic bandwidths for a particular mineral with functional groups. All the obtained IR spectra are characterized by the presence of several transmission regions: in the high-frequency region (3600-3700 cm⁻¹), stretching vibrations of OH groups in clay minerals reveal themselves, and bands of about 1400 cm⁻¹ and 712 cm⁻¹ correspond to stretching and deformation vibrations of CO bonds in the minerals of the calcium carbonate - calcite group. Oscillations of the silicon-oxygen framework (Si-O(-Si) bond) correspond in the IR-spectra to bands of about 1000 cm⁻¹ and in the region of 500-400 cm⁻¹. Qualitative differences in the composition of the analyzed soils are observed only within the clay fraction of soils. The most favorable soil horizons for the formation of geochemical barriers are: C_{Ca} horizon of all studied soils – sorption barriers, D_{Ca} horizon of soil profiles No. 1 (Aromatnovskoye village settlements) and No. 4 (Krinichnenskoye village settlements) – alkaline barriers. The intensity of migration of solid mineral particles and sorption of concomitant cationogenic and anionogenic elements within the soil profile depends on endogenous and exogenous environmental conditions. In particular, all analyzed soils are alkaline to varying degrees, which under such conditions determines the increased migration activity of anionogenic and the accumulation of cationogenic elements.

Keywords: *foothill chernozems, FTIR-spectroscopy, migration, geochemical barriers, clay minerals, calcium carbonates, silicates.*

References

1. Margenot, A. J., Parikh, S. J., Calderón, F. J. Improving Infrared Spectroscopy Characterization of Soil Organic Matter with Spectral Subtractions. *J. Vis. Exp.* (143), e57464, doi: 10.3791/57464 (2019).
2. Nuzzo A., Buurman P., Cozzolino V. et al. Infrared spectra of soil organic matter under a primary vegetation sequence. *Chem. Biol. Technol. Agric.* 7, 6 (2020). URL: <https://doi.org/10.1186/s40538-019-0172-1>
3. Mondal, Bhabani & Sekhon, Bharpoor & Sharma, Sandeep & Singh, Manjeet & Sahoo, Rabi & Barman, Arijit & Sinha, Yagani & Chattopadhyay, Arghya & Banerjee, Koushik. (2017). VIS-NIR Reflectance Spectroscopy for Assessment of Soil Microbiological Properties. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 6. 719-728. doi: 10.20546/ijcmas.2017.612.075.
4. Chetverikova A. G., Maryahina V. S. Issledovaniya polimineralnoy glinyi, soderzhaschey trehsloynnye alyumosilikaty fizicheskimi metodami *Vestnik Orenburgskogo gos. un-ta*, 2015. № 1 (176). S. 250–255. (in Russian)
5. Ritz M, Vaculíková L, Plevová E. Identification of clay minerals by infrared spectroscopy and discriminant analysis // *Applied spectroscopy*. 2010. Vol. 64 (12). P. 1379-1387.
6. Atlas. Avtonomnaya Respublika Kryim. Kiev-Simferopol, 2003. 76 s. (in Russian)
7. Plyusnina I. I. *Infrakrasnyie spektryi mineralov M.* : Izd-vo Mosk. Un-ta, 1976. 175 s. (in Russian)
8. Thompson J. (2018) *Infrared Spectroscopy*. Pan Stanford Publishing, P. 211.
9. Margenot A. J., Caldero ´n F. J., Goyne K. W., Mukome F. N., Parikh S. J. (2017) *IR Spectroscopy, Soil Analysis Applications. Encyclopedia of Spectroscopy and Spectrometry, Third Edition, vol. 2, Pp. 448–454.*

Поступила в редакцию 09.06.2020 г.