

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТАВА ГУМУСОВЫХ КИСЛОТ ПОЧВ ЕВРОАРКТИЧЕСКОГО РЕГИОНА МЕТОДОМ ИК-СПЕКТРОСКОПИИ¹

*Н.С. Прилуцкая**, *Т.А. Корельская***, *Л.Ф. Попова**, *В.А. Леонтьева**

*Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

**Северный государственный медицинский университет (г. Архангельск)

Гумусовые кислоты, входящие в состав органического вещества, являются важной частью почвы, от их качества зависит поведение загрязнителей различной природы, в т. ч. и тяжелых металлов. В статье при помощи ИК-спектроскопии изучен структурно-функциональный состав гумусовых кислот почв Евроарктического региона. В молекулах этих кислот идентифицированы метиленовые ($-\text{CH}_2$), карбоксильные ($-\text{COOH}$), спиртовые ($-\text{OH}$), тиокарбонильные ($-\text{C}=\text{S}$), аминные ($-\text{NH}_2$) и амидные ($-\text{CONH}_2$) группы. На основе качественного анализа ИК-спектров сделано предположение, что максимальными комплексообразующими свойствами по отношению к тяжелым металлам обладают гуминовые и гиматомелановые кислоты. Исходя из расчета отношений оптических плотностей определенных полос поглощения сделана количественная оценка функционального состава гумусовых кислот. Установлено увеличение относительного размера молекул гумусовых кислот и, следовательно, их экопротекторной роли по отношению к тяжелым металлам в ряду фульвокислоты \rightarrow гуминовые кислоты \rightarrow гиматомелановые кислоты за счет более разветвленных боковых алифатических цепей и увеличения количества углеводных компонентов. Показано, что в большей степени барьерную функцию выполняют гумусовые кислоты, выделенные из глеезема типичного бескарбонатного среднесуглинистого (о-в Вайгач). Проанализированные почвы по степени выполнения барьерных функций гумусовыми кислотами, выделенными из них, можно расположить в следующий ряд: глеезем типичный бескарбонатный среднесуглинистый > перегнойно-торфяная олиготрофная почва > литозем серогумусовый иллювиально-железистый песчаный > пелозем глееватый легкосуглинистый на среднесуглинистой морене.

Ключевые слова: почвы Евроарктического региона, структурно-функциональный состав гумусовых кислот, ИК-спектроскопия, гуминовые кислоты, фульвокислоты, гиматомелановые кислоты, экопротекторная роль гумусовых кислот.

¹Работа выполнена с использованием оборудования Центра коллективного пользования научным оборудованием «Арктика» Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (уникальный идентификатор работ RFMEFI59414X0004).

Контактное лицо: Прилуцкая Наталья Сергеевна, адрес: 163002, г. Архангельск, наб. Северной Двины, д. 17; e-mail: n.priluckaya@narfu.ru.

Для цитирования: Прилуцкая Н.С., Корельская Т.А., Попова Л.Ф., Леонтьева В.А. Исследование структурно-функционального состава гумусовых кислот почв Евроарктического региона методом ИК-спектроскопии // Вестн. Сев. (Арктич.) федер. ун-та. Сер.: Естеств. науки. 2016. № 4. С. 26–35. doi: 10.17238/issn 2227-6572.2016.4.26.

Структурно-функциональный состав гумусовых кислот почв различных регионов РФ в настоящее время активно изучается, при этом используются самые современные физико-химические методы [1–4]. Начато изучение и почв Евроарктического региона: получены сведения о генезисе этих почв, строении их почвенного профиля, содержании гумуса и тяжелых металлов (ТМ) [5–6]. В то же время структурно-функциональный состав органического вещества почв Евроарктического региона изучен недостаточно [7], хотя подобные знания могут помочь в исследовании экопротекторной роли гумусовых кислот в отношении потенциальных загрязнителей чувствительной окружающей среды Арктики.

Получить информацию о наличии или отсутствии тех или иных функциональных групп в молекулах гумусовых кислот и, следовательно-

но, об экопротекторной роли данных кислот в отношении таких поллютантов, как ТМ, позволяет метод колебательной спектроскопии (ИК-спектроскопии).

Цель исследования – проанализировать особенности структурно-функционального состава гумусовых кислот почв Евроарктического региона методом ИК-спектроскопии для последующей оценки их экопротекторной функции в отношении ТМ.

Материалы и методы. В качестве объекта исследования были выбраны различные типы почв Евроарктического региона. Почвенные разрезы были заложены участниками комплексной научно-образовательной экспедиции «Арктический плавучий университет – 2013» на следующих территориях (*табл. 1*): п-ов Канин (м. Канин Нос), о-в Колгуев (п. Бугрино), о-в Вайгач, архипелаг Земля Франца-Иосифа (о-в Хейса).

Таблица 1

ОПИСАНИЕ МЕСТ ЗАКЛАДКИ ПОЧВЕННЫХ РАЗРЕЗОВ

№ ПП	Место разреза (координаты)	Рельеф	Положение разреза относительно рельефа и экспозиции	Почва*
1	м. Канин Нос (68°40' с. ш., 43°33' в. д.)	<u>Общий</u> : прибрежные склоны. <u>Мезорельеф</u> : долина, обращенная к морскому берегу. <u>Микрорельеф</u> : выражен, формируется с оползанием склона, наличие кочек	Южный склон, средняя часть склона 45°, высота 20 м	Пелозем глееватый легкосуглинистый на среднесуглинистой морене
2	о-в Колгуев (69°01'09" с. ш., 49°21'46" в. д.)	<u>Общий</u> : водораздел, участок торфяника. <u>Мезорельеф</u> : обширное понижение. <u>Микрорельеф</u> : мелкобугристое болото	Вершина крупного бугра пучения	Перегноино-торфяная олиготрофная
3	о-в Вайгач (70°27' с. ш., 39°07' в. д.)	<u>Общий</u> : прибрежная часть. <u>Мезорельеф</u> : склон 10°. <u>Микрорельеф</u> : морозобойные трещины диаметром 10 см	Северо-восток	Глеезем типичный бескарбонатный среднесуглинистый
4	о-в Хейса (80°34' с. ш., 57°41' в. д.)	<u>Общий</u> : равнинный. <u>Мезорельеф</u> : плоская поверхность возвышающегося плато. <u>Микрорельеф</u> : мелкие камни, а также подушки мхов и лишайников	Равнина возвышающегося плато	Литозем серогумусовый иллювиально-железистый песчаный

Примечание: * – названия почв приведены по Л.Л. Шишову и др. [8].

Пробы почв (по одной с каждой пробной площади) отбирались в соответствии с ГОСТ 28168–89². Из почв методом М.М. Кононовой и Н.П. Бельчиковой [9] были выделены препараты гумусовых кислот (ГФК): гуминовых (ГК), фульвовых (ФК) и гиматомелановых (ГМК). Метод основан на извлечении из почвы смеси кислот щелочным раствором пирофосфата натрия с последующим выделением ГК, ФК и ГМК различными экстрагентами и дополнительным извлечением ФК методом адсорбционной хроматографии (в качестве сорбента применялся активированный уголь).

Запись ИК-спектров (12 образцов) была выполнена методом наружного полного внутреннего отражения (НПВО) на ИК-Фурье-спектрометре «Vertex 70v» («Bruker», Германия) в диапазоне 4000–400 см⁻¹ с разрешением 4 см⁻¹ в лаборатории колебательной спектроскопии Центра коллективного пользования научным оборудованием «Арктика» (САФУ). Для получения ИК-спектров образцы ГФК использовались без пробоподготовки (с помощью прижимного устройства ГФК придавливали к призме НПВО). В каче-

стве фона, вычитаемого при записи спектра, служил воздух. После снятия спектров ATR-коррекция производилась с помощью программного обеспечения.

Качественная оценка функционального состава ГФК проводилась по таблицам спектральных данных [10, 11], а количественная – путем расчета отношений оптических плотностей полос поглощения кислородсодержащих групп: гидроксильных (–ОН) (3400 см⁻¹) и карбоксильных (–СООН) (1720 см⁻¹) групп, эфирных связей (1270 см⁻¹) и углеводных фрагментов (1035 см⁻¹) – к оптическим плотностям полос поглощения, соответствующих ароматическим полисопряженным системам при 1610 см⁻¹ и алифатическим заместителям при 2920 см⁻¹.

Результаты и обсуждение. Полученные ИК-спектры ГФК (рис. 1–3) имеют характеристические полосы поглощения, указывающие на многофункциональность их молекул.

ИК-спектры всех исследуемых образцов содержат:

1) полосы валентных колебаний –С=О в области 1870–1540 см⁻¹;

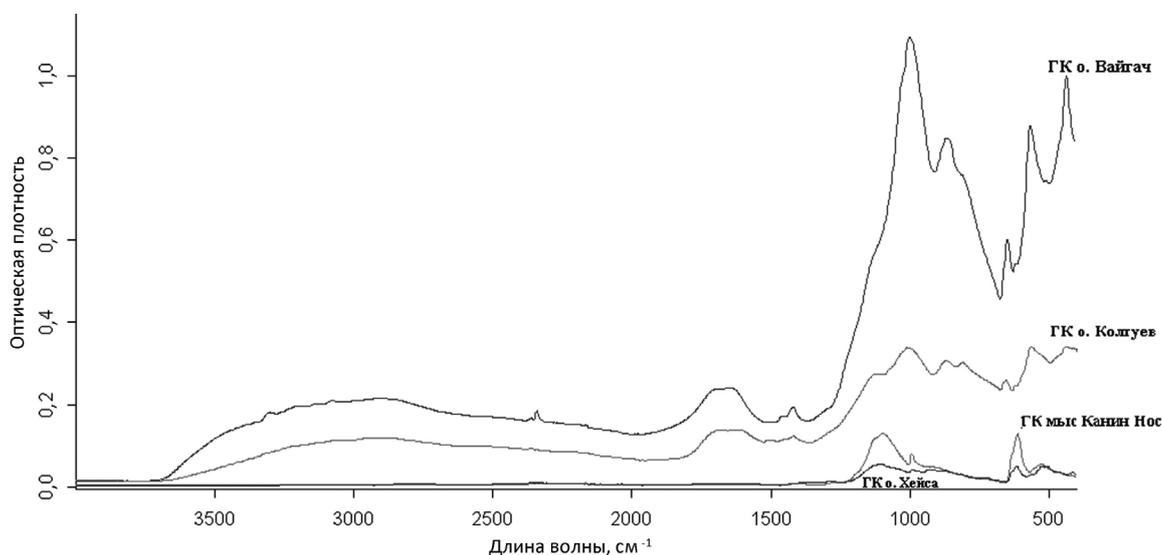


Рис. 1. ИК-спектры гуминовых кислот

²ГОСТ 28168–89. Почвы. Отбор проб. Введ. 1990–04–01. М., 2008. 7 с.

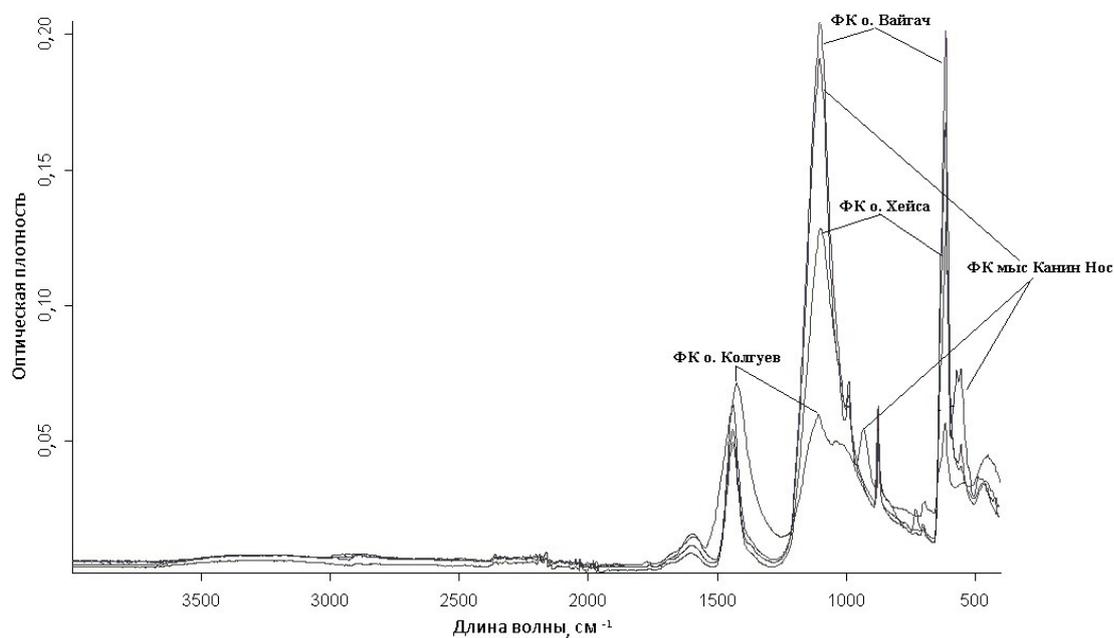


Рис. 2. ИК-спектры фульвокислот

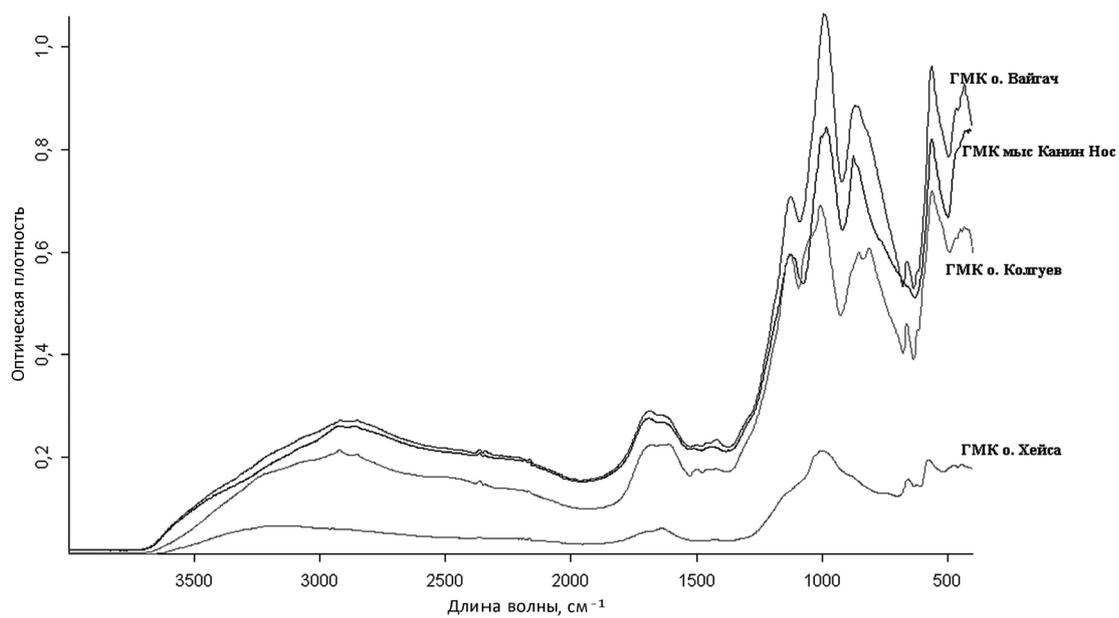


Рис. 3. ИК-спектры гиматомелановых кислот

2) полосы плоскостных колебаний ароматических связей С-Н в области 1300–1000 см⁻¹;

3) интенсивные полосы в области 1260–1000 см⁻¹, характеризующие валентные колебания связи С-О спиртовых и фенольных групп;

4) интенсивные полосы поглощения в области 900–675 см⁻¹, обусловленные внеплоскостными деформационными колебаниями связей С-Н в кольце и указывающие на наличие моноядерных и полиядерных ароматических структур;

5) полосы поглощения около 600–420 см⁻¹, свидетельствующие о внеплоскостных деформационных колебаниях кольца и указывающие на наличие замещенных бензолов.

В ИК-спектрах ГК, выделенных из перегнойно-торфяной олиготрофной почвы и глеезема типичного бескарбонатного, и во всех ИК-спектрах ГМК широкие полосы поглощения в области 3500–2500 см⁻¹ свидетельствуют о наличии в их молекулах –ОН-групп, связанных межмолекулярными связями.

Характеристические частоты вблизи 2926 и 2853 см⁻¹ в ИК-спектрах ГК перегнойно-торфяной олиготрофной почвы и глеезема типичного бескарбонатного, ГМК перегнойно-торфяной олиготрофной почвы, глеезема типичного бескарбонатного и пелозема глееватого указывают на антисимметричные (ν_{as}) и симметричные валентные колебания (ν_s) метиленовых групп (–CH₂) соответственно.

Полосы поглощения в областях 1600–1585 и 1500–1400 см⁻¹ в ИК-спектрах ГК, выделенных из пелозема глееватого, перегнойно-торфяной олиготрофной почвы и глеезема типичного бескарбонатного, и во всех ИК-спектрах ФК говорят о скелетных колебаниях, включая колебания С-С-цикла.

Полосы валентных колебаний связи С-О в области 1050–1000 см⁻¹ в ИК-спектрах ГК перегнойно-торфяной олиготрофной почвы и глеезема типичного бескарбонатного, ФК перегнойно-торфяной олиготрофной почвы, ГМК перегнойно-торфяной олиготрофной почвы и литозема серогумусового, указывают на наличие первичных спиртовых групп.

В ИК-спектрах ГК пелозема глееватого, литозема серогумусового, всех ФК и ГМК, кроме ГМК литозема серогумусового, присутствуют полосы валентных колебаний связи С-О в области 1200–1100 см⁻¹, свидетельствующие о наличии вторичных или α -ненасыщенных спиртовых групп (–ОН), и пик в области 1250–1020 см⁻¹, который может быть связан с полосами поглощения несопряженных связей С-Н, характерных для аминогрупп алифатических аминов, а наличие полос при 2360 см⁻¹ для ГК литозема серогумусового и глеезема типичного бескарбонатного указывает на присутствие амидных групп.

Полосы поглощения в области 700–600 см⁻¹, соответствующие валентным колебаниям, относящимся к связи С-S, пики в области 1250–1020 см⁻¹, которые могут быть связаны с наличием тиокарбонильных групп и полосы поглощения в области 500–400 см⁻¹, соответствующие валентным колебаниям S-S-связей, есть во всех ИК-спектрах ГК, ФК и ГМК (кроме спектра ГМК пелозема глееватого).

Помимо характеристических полос поглощения функциональных групп в ИК-спектрах ГК пелозема глееватого и литозема серогумусового присутствуют пики около 1100 и 600 см⁻¹, что, возможно, связано с неорганическим сульфат-ионом, внесенным на стадии осаждения ГФК.

Анализ оптических плотностей позволил сделать предположение об относительных размерах молекул в ГФК отобранных образцов. Увеличение относительных размеров молекул (рис. 4) происходит в ряду ФК→ГК→ГМК для всех исследуемых образцов за счет более разветвленных боковых алифатических цепей и увеличения количества углеводных компонентов. При этом происходит увеличение относительного суммарного содержания кислородсодержащих групп. Среди исследуемых кислот наибольший относительный размер молекул имеют ГК глеезема типичного бескарбонатного.

Таким образом, максимальным барьерным механизмом по отношению к ТМ обладают ГК, выделенные из почв глеезема типичного бескарбонатного, что обусловлено как большим

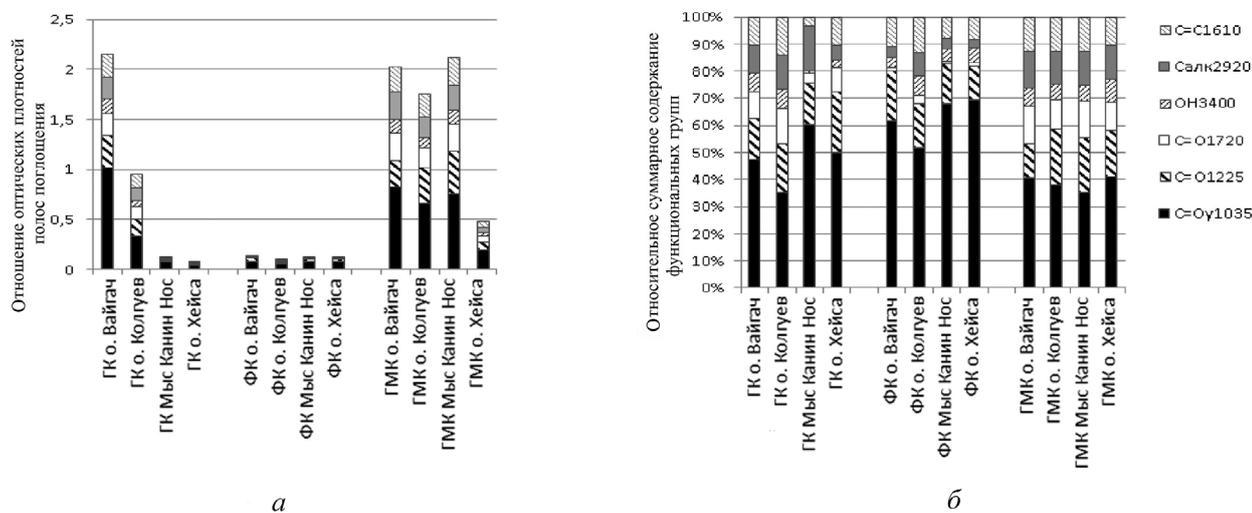


Рис. 4. Характеристика полос поглощения ГФК (а), выделенных из почв Арктики, и относительное суммарное содержание функциональных групп (%) в них (б)

размером молекул, так и большим количеством функциональных групп.

Расчет структурных параметров ГФК (табл. 2) показал, что отношения оптических

плотностей полос поглощения функциональных кислородсодержащих групп и алкильных заместителей к ароматическим фрагментам сильно варьируют, в то же время наблюдается

Таблица 2

СООТНОШЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ПЛОТНОСТЕЙ ПОЛОС ПОГЛОЩЕНИЯ В ГУМУСОВЫХ КИСЛОТАХ ПРИ ОПРЕДЕЛЕННЫХ ДЛИНАХ ВОЛН ПО ДАННЫМ ИК-СПЕКТРОСКОПИИ

Оптические отношения D	Глеезем типичный бескарбонатный среднесуглинистый	Перегноино-торфяная олиготрофная почва	Пелозем глееватый легкосуглинистый на среднесуглинистой морене	Литозем серогумусовый иллювиально-железистый песчаный
<i>Гуминовые кислоты</i>				
$OH_{3400}/C=C_{1610}$	0,65	0,49	0,25	0,25
$C=O_{1720}/C=C_{1610}$	0,93	0,94	1,00	0,88
$C=O_{1225}/C=C_{1610}$	1,39	1,28	4,50	2,13
$C=Oy_{1035}/C=C_{1610}$	4,43	2,48	18,00	4,75
$Салк_{2920}/C=C_{1610}$	0,93	0,90	5,00	0,50
$OH_{3400}/Салк_{2920}$	0,70	0,54	0,05	0,50
$C=O_{1720}/Салк_{2920}$	1,00	1,04	0,20	1,75
$C=O_{1225}/Салк_{2920}$	1,49	1,42	0,90	4,25
$C=Oy_{1035}/Салк_{2920}$	4,74	2,75	3,60	9,50

Окончание табл. 2

Оптические отношения D	Глеезем типичный бескарбонатный среднесуглинистый	Перегноино-торфяная олиготрофная почва	Пелозем глееватый легкосуглинистый на средне-суглинистой морене	Литозем серогумусовый иллювиально-железистый песчаный
<i>Фульвокислоты</i>				
$OH_{3400}/C=C_{1610}$	0,33	0,54	0,56	0,60
$C=O_{1720}/C=C_{1610}$	0,13	0,23	0,11	0,20
$C=O_{1225}/C=C_{1610}$	1,67	1,23	1,89	1,50
$C=O_{1035}/C=C_{1610}$	5,53	3,85	8,78	8,30
Салк₂₉₂₀/C=C₁₆₁₀	0,33	0,62	0,56	0,40
$OH_{3400}/Салк_{2920}$	1,00	0,88	1,00	1,50
$C=O_{1720}/Салк_{2920}$	0,40	0,38	0,20	0,50
$C=O_{1225}/Салк_{2920}$	5,00	2,00	3,40	3,75
$C=O_{1035}/Салк_{2920}$	16,60	6,25	15,80	20,75
<i>Гиматомелановые кислоты</i>				
$OH_{3400}/C=C_{1610}$	0,54	0,44	0,47	0,78
$C=O_{1720}/C=C_{1610}$	1,08	0,84	1,02	1,00
$C=O_{1225}/C=C_{1610}$	1,00	1,60	1,55	1,57
$C=O_{1035}/C=C_{1610}$	3,15	2,93	2,73	3,84
Салк₂₉₂₀/C=C₁₆₁₀	1,04	0,93	0,95	1,16
$OH_{3400}/Салк_{2920}$	0,52	0,48	0,50	0,68
$C=O_{1720}/Салк_{2920}$	1,04	0,90	1,08	0,86
$C=O_{1225}/Салк_{2920}$	0,96	1,71	1,63	1,36
$C=O_{1035}/Салк_{2920}$	3,04	3,14	2,88	3,32

Примечание. Оптическое отношение $Салк_{2920}/C=C_{1610}$ указывает на степень сформированности ароматической и алифатической частей молекулы.

однотипность данных показателей как между ФК, так и среди ГМК.

Значения показателя D_{2920}/D_{1610} ГК и ГМК, выделенных из почвенных образцов глеезема типичного бескарбонатного и перегноино-торфяной олиготрофной почвы, а также ГМК литозема серогумусового и пелозема глееватого близки к единице, что указывает на равную

степень сформированности ароматической и алифатической частей, следовательно, именно данные кислоты являются более зрелыми и обладают максимальным барьерным механизмом по отношению к ТМ. В молекулах ГК литозема серогумусового и всех ФК преобладает ароматическая составляющая, так как данный показатель значительно меньше единицы.

В молекулах ГК пелозема глееватого, наоборот, в большей степени сформирована алифатическая составляющая.

Содержание карбоксильных групп в молекулах всех ГМК и ГК (кроме ГК пелозема глееватого) выше, чем в ФК, на что указывают значения D_{1720}/D_{1610} и D_{1720}/D_{2920} . В то же время исходя из значений D_{3400}/D_{1610} и D_{3400}/D_{2920} относительное содержание гидроксильных групп в молекулах всех ГК и ГМК, наоборот, невысокое. В молекулах ФК содержание гидроксильных групп максимально по отношению к алкильным заместителям и минимально по отношению к ароматическим фрагментам. Таким образом, исходя из количественного содержания гидроксильных и карбоксильных групп можно предположить, что ГК и ГМК в большей степени связывают ТМ по сравнению с ФК.

Для всех исследованных нами ГФК характерно высокое удельное содержание углеводных фрагментов (D_{1035}/D_{1610} и D_{1035}/D_{2920} больше единицы), особенно в молекулах ФК, что указывает на преобладание молодых гумусовых кислот, образующихся на начальной стадии гумификации.

В целом, увеличение барьерных функций ГФК происходит в ряду почв: глеезем типичный бескарбонатный среднесуглинистый > перегнойно-торфяная олиготрофная почва > литозем серогумусовый иллювиально-железистый песчаный > пелозем глееватый легкосуглинистый на среднесуглинистой морене.

Заключение. ИК-спектры ГФК исследованных образцов почв Евроарктического региона имеют ароматическую природу, в молекулах этих кислот идентифицированы ме-

тиленовые ($-\text{CH}_2$), карбоксильные ($-\text{COOH}$), спиртовые ($-\text{OH}$), тиокарбонильные ($-\text{C}=\text{S}$), аминные ($-\text{NH}_2$) и амидные ($-\text{CONH}_2$) группы, за счет которых исследуемые ГФК способны связывать ТМ в виде комплексных соединений. Максимальными комплексообразующими свойствами обладают ГК и ГМК, связывая ТМ в более прочные комплексные соединения, в то время как для ФК комплексообразующие свойства характерны в меньшей степени.

Относительный размер молекул ГФК увеличивается в ряду ФК→ГК→ГМК за счет более разветвленных боковых алифатических цепей и увеличения количества углеводных компонентов. Это способствует увеличению их экпротекторной роли по отношению к ТМ.

В большей степени барьерную функцию выполняют ГФК, выделенные из почвенных образцов глеезема типичного бескарбонатного среднесуглинистого (о-в Вайгач), т. к. их ГК имеют максимальные размеры молекул, а значение D_{2920}/D_{1610} (табл. 2) близко к единице, что говорит о равной степени сформированности ароматической и периферической частей.

По степени выполнения барьерных функций ГФК проанализированные почвы можно расположить в следующий ряд: глеезем типичный бескарбонатный среднесуглинистый > перегнойно-торфяная олиготрофная почва > литозем серогумусовый иллювиально-железистый песчаный > пелозем глееватый легкосуглинистый на среднесуглинистой морене. Это обусловлено различной степенью сформированности ароматической и периферической частей, относительным размером молекул и содержанием различных функциональных групп в ГФК.

Список литературы

1. Александрова А.В., Шурай К.Н. Структурная характеристика гуминовых веществ почв Краснодарского края как основа биопротекторной функции гумуса // Проблемы природопользования и экологическая ситуация в Европейской России и сопредельных странах: материалы VI Междунар. науч. конф. (Белгород, 12–16 октября 2015 г.). Белгород, 2015. С. 166–168.

2. Лобанов В.Г., Александрова А.В., Шурай К.Н., Авдеев А.С., Рашид И.Д. Структурно-функциональные характеристики гуминовых кислот почвы Краснодарского края // Политемат. сет. электрон. науч. журн. Кубан. гос. аграр. ун-та. 2015. № 109. С. 1016–1025. URL: <http://www.ej.kubagro.ru/2015/05/pdf/71.pdf> (дата обращения: 22.11.2016).

3. Лодыгин Е.Д., Безносиков В.А., Чуков С.Н. Структурно-функциональные параметры гумусовых веществ подзолистых и болотно-подзолистых почв. СПб., 2007. 145 с.

4. Нестерова О.В., Семаль В.А. Характеристика гуминовых кислот буроземов юга Сихотэ-Алиня по данным элементного анализа и ИК-спектроскопии (на примере Уссурийского заповедника) // Вестн. Краснояр. гос. аграр. ун-та. 2009. № 10. С. 29–35.

5. Любова С.В., Любова Н.В. Почвы Арктики и некоторые их свойства // Экологические проблемы Арктики и северных территорий: межвуз. сб. науч. тр. Архангельск, 2016. С. 254–257.

6. Вишневая Ю.С., Попова Л.Ф. Оценка экологического состояния и степени загрязнения тяжелыми металлами почв Арктики // Вестн. Моск. гос. обл. ун-та. Сер.: Естеств. науки. 2016. № 2. С. 96–104.

7. Литвинова Т.И., Кацулина Г.М., Коробейникова Н.М. Органическое вещество почв в условиях высокой Арктики: остров Западный Шпицберген // Почвоведение – продовольственной и экологической безопасности страны: тез. докл. VII съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева и Всерос. с зарубеж. участием науч. конф. (Белгород, 15–22 августа 2016 г.). Ч. II. М.; Белгород, 2016. 495 с.

8. Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И. Классификация и диагностика почв России. Смоленск, 2004. 342 с.

9. Кононова М.М., Бельчикова Н.П. Ускоренные методы определения состава гумуса // Почвоведение. 1961. №10. С. 75–87.

10. Преч Э., Бюльманн Ф., Аффольтер К. Определение строения органических соединений. Таблицы спектральных данных / пер. с англ. М., 2009. 438 с.

11. Сильверстейн Р., Вебстер Ф., Кимл Д. Спектрометрическая идентификация органических соединений / пер. с англ. М., 2011. 557 с.

References

1. Aleksandrova A.V., Shuray K.N. Strukturnaya kharakteristika guminovykh veshchestv pochv Krasnodarskogo kraja kak osnova bioprotekornoj funktsii gumusa [The Structural Characterization of Soil Humic Substances of Krasnodar Krai as a Basis of the Humus Bio-Protected Function]. *Problemy prirodoopol'zovaniya i ekologicheskaya situatsiya v Evropeyskoy Rossii i sopredel'nykh stranakh: materialy VI Mezhdunar. nauch. konf. (Belgorod, 12–16 oktyabrya 2015 g.)* [Problems of Nature Management and Environmental Situation in European Russia and Neighboring Countries: Proc. 6th Int. Sci. Conf. (Belgorod, 12–16 October, 2015)]. Belgorod, 2015, pp. 166–168.

2. Lobanov V.G., Aleksandrova A.V., Shuray K.N., Avdeev A.S., Rashid I.D. Strukturno-funktsional'nye kharakteristiki guminovykh kislot pochvy Krasnodarskogo kraja [Structural and Functional Characteristics of the Humic Acid Soils of the Krasnodar Region]. *Politematicheskiy setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyy zhurnal KubGAU)* [Polythematic Online Scientific Journal of Kuban State Agrarian University], 2015, no. 109, pp. 1016–1025. Available at: <http://www.ej.kubagro.ru/2015/05/pdf/71.pdf> (accessed 22.11.2016).

3. Lodygin E.D., Beznosikov V.A., Chukov S.N. *Strukturno-funktsional'nye parametry gumusovykh veshchestv podzolistykh i bolotno-podzolistykh pochv* [Structural and Functional Parameters of Humic Substances of Podzolic and Swamp-Podzolic Soils]. Saint Petersburg, 2007. 145 p.

4. Nesterova O.V., Semal' V.A. Kharakteristika guminovykh kislot burozemov yuga Sikhote-Alinya po dannym elementnogo analiza i IK-spektroskopii (na primere Ussuriyskogo zapovednika) [Characterization of Humic Acids of Brown Soils of the South of Sikhote-Alin According to the Elemental Analysis and Infrared Spectroscopy (the Case of the Ussuri Reserve)]. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [The Bulletin of KrasGAU], 2009, no. 10, pp. 29–35.

5. Lyubova S.V., Lyubova N.V. Pochvy Arktiki i nekotorye ikh svoystva [The Soils of the Arctic and Some of Their Properties]. *Ekologicheskie problemy Arktiki i severnykh territoriy: mezhvuz. sb. nauch. tr.* [Ecological Problems of the Arctic and Northern Territories]. Arkhangelsk, 2016, pp. 254–257.

6. Vishnevaya Yu.S., Popova L.F. Otsenka ekologicheskogo sostoyaniya i stepeni zagryazneniya tyazhelymi metallami pochv Arktiki [Assessment of the Environmental Status and Degree of Pollution of Arctic Soils by Heavy Metals]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo oblastnogo universiteta. Ser.: Estestvennye nauki* [Bulletin of the Moscow State Regional University. Ser.: Natural Science], 2016, no. 2, pp. 96–104.

7. Litvinova T.I., Kashulina G.M., Korobeynikova N.M. Organicheskoe veshchestvo pochv v usloviyakh vysokoy Arktiki: ostrov Zapadnyy Shpitsbergen [Soil Organic Substance in the High Arctic: West Spitsbergen]. *Pochvovedenie – prodovol'stvennoy i ekologicheskoy bezopasnosti strany: tez. dokl. VII s'ezda Obshchestva pochvovedov im. V.V. Dokuchaeva i Vseros. s zarubezh. uchastiem nauch. konf. (Belgorod, 15–22 avgusta 2016 g.). Ch. II.* [Soil Science is for the Food and Environmental Security of the Country: Proc. 7th Congress of the V.V. Dokuchaev Soil Science Society and All-Russ. Sci. Conf. with Int. Participation (Belgorod, 15–22 August, 2016). Part 2]. Moscow; Belgorod, 2016. 495 p.

8. Shishov L.L., Tonkonogov V.D., Lebedeva I.I., Gerasimova M.I. *Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii* [Classification and Diagnostics of Russian Soils]. Smolensk, 2004. 342 p.

9. Kononova M.M., Bel'chikova N.P. Uskorennyye metody opredeleniya sostava gumusa [Rapid Determining Methods of the Humus Composition]. *Pochvovedenie* [Eurasian Soil Science], 1961, no. 10, pp. 75–87.

10. Pretsch E., Buhlmann P., Affolter C. *Structure Determination of Organic Compounds. Tables of Spectral Data.* Berlin; Heidelberg; New York; Barcelona; Hong Kong; London; Milan; Paris; Singapore; Tokyo, 2000. 473 p.

11. Silverstein R.M., Webster F.X., Kiemle D.J. *Spectrometric Identification of Organic Compounds.* US, 2005. 512 p.

doi: 10.17238/issn 2227-6572.2016.4.26

Natal'ya S. Prilutskaya*, Tat'yana A. Korel'skaya, Lyudmila F. Popova*, Valentina A. Leont'eva***

*Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov (Arkhangelsk, Russian Federation)

**Northern State Medical University (Arkhangelsk, Russian Federation)

THE STUDY OF THE STRUCTURAL AND FUNCTIONAL COMPOSITION OF SOIL HUMUS ACIDS OF THE EURO-ARCTIC REGION BY INFRARED SPECTROSCOPY

Humus acids as a part of the organic matter are an important soil element. The quality of humus acids affects on pollutants of various nature, including heavy metals. The article discusses the structural and functional composition of soil humus acids in the Euro-Arctic Region, which was investigated by the IR spectroscopy. The methylene ($-\text{CH}_2$), carboxyl ($-\text{COOH}$), alcohol ($-\text{OH}$), thiocarbonyl ($-\text{C}=\text{S}$), amine ($-\text{NH}_2$) and amido ($-\text{CONH}_2$) groups are identified in the molecules of these acids. The qualitative analysis of IR spectroscopy suggests that humic and hymatomelanic acids have maximum complexing ability in reference to heavy metals. The quantitative assessment of the functional composition of humus acids was made by calculating the ratio of optical densities of certain absorption bands. We defined the increase in the relative size of humic acid molecules and their ecoprotective function in relation to heavy metals in a series of fulvic acid \rightarrow humic acids \rightarrow hymatomelanic acids by means of branch aliphatic side-chains and increasing the number of carbohydrate components. Largely, the barrier function is performed by humic acids isolated from the typical noncalcareous loamy gley soils (Vaigach). The analyzed soils according to the barrier function of humic acids, isolated of them, can be arranged in the following series: typical noncalcareous loamy gley soil > humus peat oligotrophic soil > gray humous iron sandy lithozem > gleyish easy loamy pelosi on loamy moraine.

Keywords: soil of the Euro-Arctic Region, structural and functional composition of humus acid, infrared spectroscopy, humic acid, fulvic acid, hymatomelanic acid, ecoprotective function of humus acids.

Received on August 22, 2016

Поступила 22.08.2016

Corresponding author: Natal'ya Prilutskaya, address: Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: n.priluckaya@narfu.ru.

For citation: Prilutskaya N.S., Korel'skaya T.A., Popova L.F., Leont'eva V.A. The Study of the Structural and Functional Composition of Soil Humus Acids of the Euro-Arctic Region by Infrared Spectroscopy. *Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) federal'nogo universiteta. Ser.: Estestvennye nauki*, 2016, no. 4, pp. 26–35. doi: 10.17238/issn 2227-6572.2016.4.26.