

На правах рукописи

Бажина Наталья Леонидовна

ГУМИНОВЫЕ КИСЛОТЫ ПОЧВ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТУВЫ

03.02.13 – Почвоведение

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Томск – 2016

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институт почвоведения и агрохимии Сибирского отделения Российской академии наук, в лаборатории биогеоценологии.

Научный руководитель: доктор биологических наук, профессор
Дергачева Мария Ивановна

Официальные оппоненты:

Русанов Александр Михайлович, доктор биологических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет», химико-биологический факультет, декан; кафедра биологии и почвоведения, заведующий кафедрой

Ефремова Тамара Тимофеевна, доктор биологических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт леса им. В.Н. Сукачева Сибирского отделения Российской академии наук, лаборатория лесной фитоценологии, ведущий научный сотрудник

Ведущая организация: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет»

Защита диссертации состоится 16 июня 2016 г. в 12-00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.267.09, созданного на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет», по адресу: 634050, Томск, пр. Ленина, 36 (Главный корпус, ауд. 224)

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке и на сайте федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» www.tsu.ru

Материалы по защите диссертации размещены на официальном сайте ТГУ:
<http://www.ams.tsu.ru/TSU/QualificationDep/co-searchers.nsf/newpublicationn/BazhinaNL16062016.html>

Автореферат разослан «___» апреля 2016 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор биологических наук, профессор

Середина
Валентина Петровна

Актуальность исследования. Гуминовые кислоты выполняют ряд функций в экосистемах и биосфере, принимая участия во многих процессах на разных уровнях: от почв до экосистем и биосферы в целом. Так, они играют важную роль в цикле углерода, в формировании теплового баланса почв, в реализации связей между почвами и другими компонентами экосистем, являются регуляторами плодородия почв, осуществляют комплекс функций, направленных на обеспечение устойчивости экосистем и поддержания жизни на Земле, принимают участие в формировании памяти почв (Память почв..., 2008).

Сведения о составе, свойствах и структуре гуминовых кислот, о природных закономерностях их формирования и функционирования необходимы не только для решения разнообразных вопросов почвоведения, но и некоторых проблем других наук, таких как геология, инженерная геология, стратиграфия, геохимия, археология, и многих других. В настоящее время исследований, связанных с использованием гуминовых кислот для решения самых актуальных вопросов современности, становится все больше, однако они охватывают не весь круг проблем, стоящих перед наукой и обществом (Дергачева, 2012).

Среди таких проблем находится комплекс вопросов, относящихся к диагностике состояния современной и древней природной среды, реконструкции палеоклиматов и ретроспективных трендов их изменений с целью составления прогнозных сценариев их поведения. Последнее требует наличия количественных характеристик, связанных с выявлением взаимосвязи между экологическими условиями формирования и свойствами гуминовых кислот на разных уровнях организации биосферы: глобальном, региональном и локальном. Однако, этот вопрос пока исчерпывающе не изучен, требует использования подходов с позиций одного из разделов теоретического почвоведения, основы которого разработаны трудами В.Р. Волобуева и И.А. Соколова и названного Г.В. Добровольским и Е.Д. Никитиным факторной экологией почв. При этом территория Тувы, в силу своей природной уникальности, выступает удобным объектом для решения этих вопросов.

Западная часть Тувы является регионом, который очень интересен с точки зрения соотношения региональных и локальных закономерностей формирования почв, обуславливающих состав, структуру и свойства гуминовых кислот, поскольку спектр природных условий на её территории очень широк: от тундры до опустыненных степей. Кроме того, с точки зрения особенностей структуры и свойств гуминовых кислот этот регион практически не изучен.

Цель исследований: выявить разнообразие гуминовых кислот почв западной части Тувы по составу, свойствам и структурным особенностям и их связь с экологическими условиями формирования.

Задачи исследований: 1. Изучить элементный состав и спектральные характеристики гуминовых кислот почв западной части Тувы разных экологических условий формирования.

2. Выявить те структурные компоненты, которые являются наиболее сенсорными к окружающей обстановке, и те, которые отвечают за сохранение информации длительное время.

3. Установить диапазоны среднегодовых температур и влажности, при которых формируются гуминовые кислоты почв с определенными пределами соотношения элементов в их составе.

4. Дать общую характеристику гуминовых кислот почв разных условий формирования на территории западной части Тувы и выявить особенности их взаимосвязи с показателями природной обстановки в районах с аридным и гумидным климатом.

Научная новизна: Выявлено, что гуминовые кислоты почв западной части Тувы разных условий формирования имеют четкие поля распределения в координатах элементного состава, в пределах территорий с гумидными и аридными условиями различаются количественными параметрами соотношения элементов, которые в рамках единых климатических рубежей варьируют незначительно.

Установлено, что специфичность гуминовых кислот почв западной части Тувы состоит в различающихся показателях состава и строения макромолекул ГК не только в почвах разных типов и подтипов, но и в иных абсолютных значениях Н:С для гуминовых кислот аналогичных условий формирования других регионов России.

Выявлено, что в условиях гумидного климата гуминовые кислоты почв, расположенных в пределах единых климатических рубежей, не имеют четких коррелятивных связей основных показателей их состава и свойств с экспозицией склона и позицией почв в геоморфологическом профиле.

Установлено, что соотношение Н:С, коэффициенты экстинкции и первый момент спектров флуоресценции гуминовых кислот почв, являющиеся климатогенно обусловленными показателями, в пределах единых климатических рубежей варьируют незначительно и могут служить индикаторами условий своего формирования. В то же время коэффициент цветности ($E_4:E_6$), отражающий соотношение ядра и периферической части в гуминовых кислотах, а также коэффициент α , отражающий соотношение интенсивностей флуоресценции в синей и красной областях, более сенсорны к изменениям природной среды, на локальном уровне варьируют в большей степени и могут использоваться как экспрессные приемы оценки поведения почв в меняющейся природной обстановке при мониторинге последней.

Показано, что первый момент (M_1) спектров флуоресценции гуминовых кислот тесно связан с величиной Н:С и коэффициентом экстинкции $E^{ГК}$, которые в совокупности могут служить в качестве источника информации об условиях почвообразования и их эволюции и могут использоваться как индикаторы состояния природной среды не только в пространстве, но и во времени.

Впервые для изученной территории Тувы установлены природные температурные и влажностные диапазоны формирования гуминовых кислот с определенными параметрами соотношения структурообразующих элементов (Н:С).

Теоретическая и практическая значимость. Полученные данные, характеризующие гуминовые кислоты почв западной части Тувы разных условий формирования, позволили пополнить банк данных по связям «гуминовая кис-

лота – экологические условия образования» для территории Тувы с целью использования его при мониторинговых исследованиях, реконструкциях палеоприродной среды и оценке поведения почв и экосистем в меняющейся природной обстановке.

Материалы о составе, структуре и свойствах гуминовых кислот почв западной части Тувы и выводы диссертации могут применяться при решении широкого круга вопросов в почвоведении, палеопочвоведении, биологии, географии, сельском хозяйстве, медицине, а также в экологии и природопользовании, где необходимы сведения о гумусовых веществах и природной обусловленности их состава, структуры и свойств. Они могут также использоваться при чтении курсов лекций по экологии и химии почв, а также в других курсах, где сведения о гуминовых кислотах разных условий формирования представляют интерес (почвоведение, палеопочвоведение, археология, палеогеография и др.).

Методология и методы исследования. В основе исследования лежит системный подход, принципы факторной экологии почв, а также сравнительно-географический и сравнительно-аналитический методы почвоведения.

Защищаемые положения:

1. Гуминовые кислоты почв западной части Тувы отличаются специфичностью, что проявляется в соотношении структурообразующих элементов и компонентов, а также оптических, флуоресцентных и других свойств как внутри региона и по сравнению с аналогичными почвами других регионов России, так и в рамках единых климатических рубежей внутри гумидных и(или) аридных территорий.

2. В пределах единых биоклиматических рубежей в гумидных условиях соотношение структурообразующих элементов и ряд спектральных свойств гуминовых кислот не зависит от экспозиции склона, положения почв в геоморфологическом профиле и растительного сообщества.

Личный вклад: автором определена цель и задачи исследования, проведено полевое и лабораторное изучение почв, выделены препараты гуминовых кислот, которые изучены с помощью аналитических и инструментальных методов, интерпретированы материалы исследования, на основе которых сформулированы и обоснованы защищаемые положения, научная новизна и выводы работы.

Достоверность материалов и выводов определяется большим объемом материала, применением современных, аналитических и инструментальных приемов и методов исследования, а также использованием статистических методов обработки результатов.

Публикации и апробация работы: по теме диссертации опубликовано 14 работ, в том числе 6 статей в рецензируемых журналах, входящих в «Перечень...» ВАК РФ. Материалы диссертации доложены: на III, IV, V и VI Международных научных молодежных школах по палеопочвоведению «Палеопочвы – хранители информации о природной среде прошлого» (Новосибирск – Володарка, 2012, 2013, 2014, 2015), на XI Убсунурском Международном симпозиуме «Экосистемы Центральной Азии: исследования, сохранение, рациональное ис-

пользование» (Кызыл, 2012), на V Международной научной конференции «Отражение био-гео-антропосферных взаимодействий в почвах и почвенном покрове», посвященной 85-летию кафедры почвоведения и экологии почв ТГУ (Томск, 2015), VII Всероссийской научно-практической конференции «Проблемы экологии Южного Урала» (Оренбург, 2015).

Структура диссертации: диссертация изложена на 153 страницах, состоит из введения, 5 глав и заключения. Она включает 24 рисунка, 21 таблицу, список литературы из 207 наименований, в т.ч. 41 – иностранных.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Подходы к изучению гуминовых кислот почв Тувы с позиций факторной экологии почв

В главе обсуждаются методологические подходы к изучению гуминовых кислот с позиций факторной экологией почв, а также литературные материалы по характеристикам гуминовых кислот (ГК) современных почв Тувы. Подчеркивается, что одним из основополагающих методических положений экологии почв является необходимость использования монофакторных рядов. Обращается внимание, что один из вопросов экологии почв – причины возникновения механизмов формирования того или иного свойства гуминовых кислот – пока решать затруднительно, поскольку однозначного представления об этих механизмах практически нет, но определить причинную связь состава, структуры и свойств гуминовых кислот с комплексом формирующих его характеристик природной среды вполне возможно. Выявление причинной обусловленности формирования гумусовых веществ того или иного состава, закономерностей их поведения в меняющейся природной обстановке, установления четких количественных зависимостей их состава и свойств от условий окружающей среды является в экологии почв одной из наиболее актуальных проблем. Обсуждается также вопрос об изученности к настоящему времени состава, структурных особенностей и свойств гуминовых кислот почв Тувы. Обзор литературы показывает, что этот вопрос практически не изучен.

Глава 2. Экологические условия формирования почв и гуминовых кислот в пределах западных районов Тувы

В главе приводится характеристика разнообразия экологических условий формирования почв и почвенного покрова западной части территории Тувы. Обращается внимание, что Тува – горная страна, 82 % территории которой занято горными хребтами, большая доля из них приходится на её западную часть, где остальное пространство представлено межгорными речными долинами разного порядка, цокольными равнинами и межгорными котловинами (Геология, 1966).

По характеру рельефа территория Тувы делится на восточную и западную её части. К последней из них приурочены объекты наших исследований. Район исследования ограничивается координатами 49°91'–51°66' с.ш. и 88°59'–92°32' в.д. Общая протяженность исследуемой территории в пределах западной части Тувы с запада на восток составляет более 300 км, с севера на юг – 100 км. В этой части Тувы территория представлена водораздельными хребтами (Запад-

ным Саяном, Западным Танну-Ола, Цыган-Шибету, Шапшальским, Чихачева, Куртушибинским и Ергак-Таргак-Тайга), Алашским плато с абсолютными высотами 1000–2000 м, поднимающимися над ними вершинами гор до 3000 м и горными перевалами не ниже 1900 м, а также острыми гребнями юго-западного высокогорного района хребтов Цаган-Шибэту и Чихачева со снежниками и ледниками, в том числе горным массивом Монгун-Тайга с абсолютной высотой 3970 м (Геология, 1966). На территории западной части Тувы расположена часть Хемчикской котловины с абсолютными отметками высот от 650 до 1000 м, имеющая на большей части равнинный рельеф, осложняемый, однако, повышенными участками в виде предгорных шлейфов, мелкосопочных и низкогорных массивов, представляющих собой отроги Западного Танну-Ола высотой до 1500 м н.у.м., южные склоны которого постепенно снижаются до 1000 м, сильно расчленены речными долинами и имеют типичный среднегорный облик (Кириллов, 1953).

На территории западной части Тувы, как и на всей территории этой горной страны, выделено четыре высотных пояса с полупустынными, степными, лесными и высокогорными условиями почвообразования. В качестве почвообразующих пород выступает комплекс рыхлых четвертичных отложений различных генетических типов, разнообразных по литологическому составу, возрасту и строению (Носин, 1963). В условиях горного рельефа распространены моренные отложения, а также элювий и элюво-делювий коренных пород. Почвообразующие породы в большинстве горных и котловинных почв западной части Тувы имеют относительно легкий гранулометрический состав, хорошую прогреваемость и водопроницаемость, однако близкое залегание мерзлоты часто нивелирует эти преимущества.

Климат в районах западной части Тувы характеризуется многообразием и контрастностью, что связано с наличием на ее территории сложного рельефа. Согласно выделенным Н.А. Ефимцевым (1957) ландшафтно-климатическим поясам для территории Тувы, в ее западной части, имеется, резко различающиеся по климатическим режимам и соответственно среднегодовым показателям климата, пояс межгорных котловин и низкогорья (от 500 до 1000–1250 м над уровнем моря), среднегорный пояс (от 1000–1250 до 1900–2000 м) и высокогорный пояс (свыше 2000 м). Согласно районированию по условиям теплообеспеченности Н.П. Бахтина (1968), основанному на учете суммы активных температур (т.е. $\sum t > 10^\circ\text{C}$), преобладающими агрометеорологическими районами на территории западной части Тувы являются: очень холодный, холодный, умеренно холодный и прохладный. Климатические показатели закономерно изменяются в связи с абсолютной высотой: при её увеличении на 100 м среднегодовая температура воздуха понижается на $0,2^\circ\text{--}0,3^\circ$, сумма температур уменьшается на 100° , количество осадков увеличиваются от 20 до 60 мм в зависимости от расположения участка в пределах котловины или на горном склоне.

По растительности выделяются четыре высотные зоны: полупустынная, степная, горнолесная и высокогорная (Куминова и др., 1985), которые характеризуются соответствующими типами почвообразования. Зависимость характе-

ристик почв от экологических условий их формирования и функционирования для горных территорий имеет свою специфику, определяемую историей, орографией и климатом горной страны. Почвенный покров западной части Тувы характеризуется относительной пестротой, при этом преобладающими типами являются горно-тундровые и горно-каштановые почвы, занимающие наибольшую часть территории на западе Тувы.

Глава 3. Объекты и методы исследования

3.1. Объекты исследования – гуминовые кислоты (ГК) современных почв западной части Тувы разных условий формирования: от высокогорных тундр до опустыненных степей, экологическая обусловленность особенностей состава, строения и свойств которых была предметом настоящей работы.

Для представления наибольшего разнообразия экологических условий формирования и функционирования почв на территории западной части Тувы было выделено 13 ключевых участков (рис. 1), в пределах которых закладывались разрезы, полуюмы и прикопки наиболее распространенных почв для отбора образцов с целью выделения из них гуминовых кислот. В общей сложности выделено и изучено более 150 препаратов гуминовых кислот почв, сформированных в разных природных условиях Тувы: в высокогорной части (выше 2200 м н.у.м. с преобладанием тундровых и горно-луговых экосистем), среднегорной части (от 2200 до 1100–1300 м н.у.м., с преобладанием почвообразования под горно-лесной растительностью), а также низкогорной части (с высоты 1100–1300 м в среднем до 600 м н.у.м.) и равнинных участков западной части Хемчикской котловины (до 400 м н.у.м.) с преобладанием степных ландшафтов.

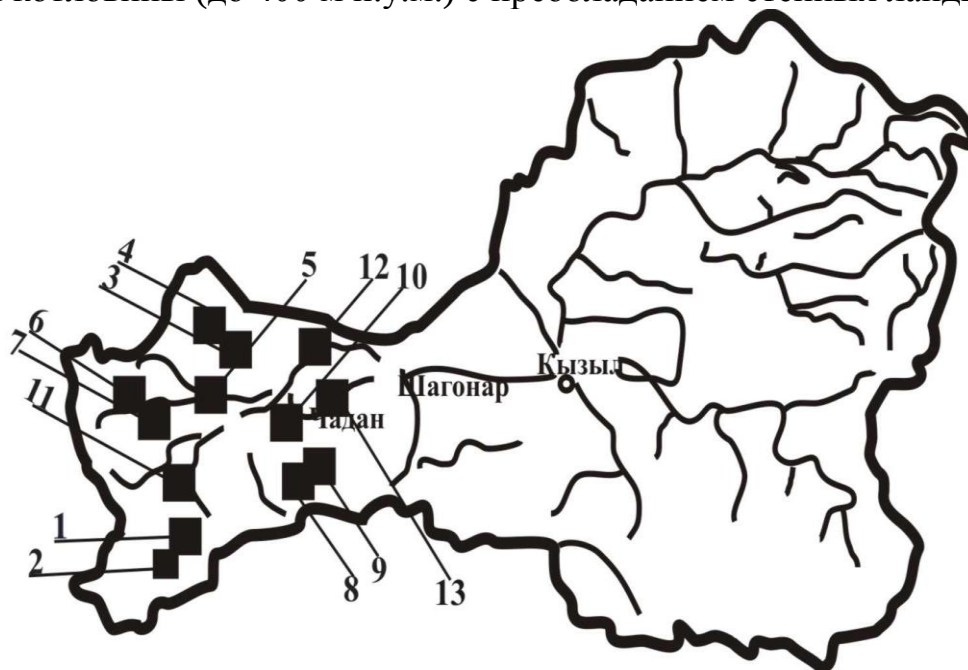


Рис. 1. Карта-схема расположения ключевых участков (в тексте – кл. уч.) на территории западной части Тувы

Объекты: 1 – Монгун-Тайга-I; 2 – Монгун-Тайга-II; 3 – Бора-Тайга; 4 – Сут-Холь; 5 – Ак-Довурак; 6 – Кара-Холь; 7 – Алаш; 8 – Улуг-Хондергей-I; 9 – Улуг-Хондергей-II; 10 – Хондергей; 11 – Шуй; 12 – Шанчи; 13 – Адар-Даш

В главе дается обобщенная таблица, содержащая сведения о положении почв в пространстве (элементе рельефа, экспозиции склона, высотных отметках), почвообразующих породах, основных климатических характеристиках, приуроченности почв к природным зонам, округам, провинциям и районам, согласно В.А. Носину (1963), а также сведения о классификационной принадлежности почв.

3.2. Методы исследования. Среди методических особенностей работы необходимо отметить подробный послойный каждые 5–10 см (или менее) в пределах морфологически выделяемых горизонтов отбор почвенных образцов, строгое соблюдение идентичности всех приемов выделения и анализа ГК, а также отсутствие жесткой очистки ГК от минеральных компонентов с использованием 6н HCl и HF+HCl.

Элементный состав ГК анализировался в лаборатории микроанализа НИОХ СО РАН на автоматических анализаторах Karla Erbe и Euro 3000 и дублировался классическим методом Прегля. Электронные спектры поглощения ГК снимались на спектрофотометре Cary-60 UV VIS. Расчет коэффициентов экстинкции ($E^{0,001\% \text{ ГК}}$) проводился по Д.С. Орлову при λ 465 нм, толщине слоя $l=1$ см и концентрации беззольной ГК 0,001%, коэффициентов цветности – по Вельте (Welte, 1955). Спектры флуоресценции снимались на сканирующем спектрофлуориметре Cary Eclipse Fluorescence Spectrophotometer (возб. = 330 нм, раствор – 1 мг в 100 мл, кювета из кварца – 1 см²). В качестве количественных параметров при сравнении спектров флуоресценции использовались положение максимума флуоресценции, первый момент M_1 («центр тяжести спектра») который рассчитывался по формуле $M_1 = \sum I_i \lambda_i / \sum I_i$ (где I_i – интенсивность в контуре флуоресценции на длине волны λ_i), а также коэффициент $\alpha = I_2 : I_1$ (где I_2 – интегральная интенсивность в длинноволновой области спектра, I_1 – интегральная интенсивность в коротковолновой области). ИК-спектры образцов ГК записывались на Фурье-спектрометре Инфралюм ФТ-801 в таблетках с KBr (при соотношении 1:150), в интервале от 500 до 4000 см⁻¹. Интерпретация спектров проводилась согласно рекомендациям Д.С. Орлова (1990), а также Н.В. Юдиной и В.Д. Тиховой (2003). Спектры ¹³C ЯМР были получены на спектрометре DRX-500 фирмы Bruker на частоте 125,76 МГц. В качестве внешнего стандарта использовался тетраметилсилан.

Статистическая обработка экспериментальных данных основывалась на рекомендациях Е.А. Дмитриева (1995) и проводилась с применением пакета Statistica. Графическое оформление результатов осуществлено с помощью компьютерной программы Origin Graph 6.1.

Глава 4. Элементный состав и спектральные характеристики гуминовых кислот почв западной части Тувы разных условий формирования

В главе последовательно дается анализ материалов изучения ГК разными методами: элементного состава (ЭС), спектральных характеристик в УФ, видимой и ИК частях спектра, а также спектров ¹³C ЯМР и флуоресценции (СФ).

4.1. Элементный состав ГК. Обобщение массива данных по содержанию и соотношению структурообразующих элементов в гуминовых кислотах

почв западной части Тувы, прежде всего, показало, что ГК разных условий формирования имеют специфические пределы их колебаний (табл.1).

Так, среднестатистические величины атомных процентов углерода, водорода, азота и кислорода в гуминовых кислотах почв резко различающихся условий – тундровых и степных – отличаются наиболее существенно, остальные лежат в пределах между ними. На содержание основных структурообразующих элементов и их соотношения в пределах высокогорного пояса влияет расположение почв на контакте с лесной или лесостепной зонами. Тундровые почвы при этом могут приобретать некоторые черты нехарактерного для них почвообразования: при влиянии лесных условий – расширение в соотношении С:N, при влиянии степных условий – уменьшение абсолютных величин Н:С и О:С. Гуминовые кислоты почв степных условий формирования, где абсолютно преобладают каштановые почвы, имеют разные пределы основных характеристик элементного состава, зависящие от локализации почв (табл. 1).

Таблица 1. Среднестатистическое содержание элементов
в гуминовых кислотах горизонта А основных почв западной части Тувы

п	С	Н	N	О	Н:С	О:С	С:N
	Атомные проценты						
Горно-тундровые примитивные почвы							
Ключевые участки Монгун-Тайга I и II							
24	33,23±0,96	41,55±1,23	2,03±0,26	21,93±0,95	1,25±0,06	0,69±0,04	17,35±3,01
Горно-тундровые дерновые почвы							
Ключевой участок Сут-Холь							
10	34,82±0,34	40,74±0,48	1,38±0,11	23,07±0,02	1,13±0,06	0,66±0,01	25,05±1,58
Горные тундро-степные почвы							
Ключевой участок Бора-Тайга							
12	37,44±1,01	39,23±0,40	2,20±0,21	21,14±0,96	1,05±0,03	0,57±0,04	17,32±1,88
Горно-луговые почвы							
Ключевой участок Улуг-Хондергей II							
8	37,16±1,54	40,36±1,27	2,88±0,14	19,68±0,60	1,08±0,08	0,53±0,08	12,94±0,76
Горно-таежные дерновые почвы							
Ключевой участок Ак-Довурак							
8	37,93±1,87	38,69±1,67	2,64±0,27	20,74±1,31	1,03±0,09	0,55±0,05	14,48±1,01
Горнолесные бурые почвы							
Ключевой участок Адар-Даи							
3	35,55±0,35	42,15±1,15	2,10±0,10	20,20±1,00	1,19±0,04	0,59±0,01	17,00±0,90
Горно-каштановые почвы							
Ключевой участок Хондергей							
14	38,06±0,35	39,77±0,21	2,13±0,19	20,05±0,64	1,04±0,01	0,53±0,02	17,97±1,48
Ключевой участок Кара-Холь							
12	36,91±0,64	40,24±1,25	2,12±0,30	21,03±1,09	1,08±0,05	0,57±0,03	16,38±2,12
Ключевой участок Алаш							
10	39,08±0,16	35,74±0,04	2,31±0,12	22,87±0,33	0,92±0,03	0,58±0,04	18,53±0,71
Светло-каштановые почвы опустыненных степей							
Ключевой участок Шанчы							
4	35,05±1,10	44,88±0,78	2,23±0,44	16,85±1,10	1,28±0,03	0,48±0,09	11,14±2,16

Так, ГК относительно холодных почв степных участков горных территорий (кл. уч. Хондере́й и Кара-Холь) отличаются преобладанием в них водорода над углеродом, тогда как ГК горно-каштановых почв (кл. уч. Алаш), более теплых в климатическом отношении, отличаются преобладанием углерода над водородом ($H:C=0,92$), наиболее низким процентом водорода (36 ат.%) и высоким – углерода (39 ат.%).

Обобщение всего массива данных по элементному составу основных почв разных условий формирования западной части Тувы по Ван-Кревелену [Van Krevelen et al., 1951] позволило представить поля распределения показателей элементного состава гуминовых кислот в координатах $H:C—O:C$ и выявить некоторые их различия (рис. 2).

Данные, приведенные на рис. 2 А, показывают, что, во-первых, ГК почв разных условий формирования имеют относительно четкие, сравнительно компактные индивидуальные поля распределений элементного состава в координатах $H:C—O:C$, которые почти не накладываются друг на друга, и что, во-вторых, ГК при смене условий от тундровых на лесные и степные испытывают дегидратацию и деметилирование макромолекул. Гуминовые кислоты почв лесных условий менее гидратированы, чем тундровых, а степных – чем лесных.

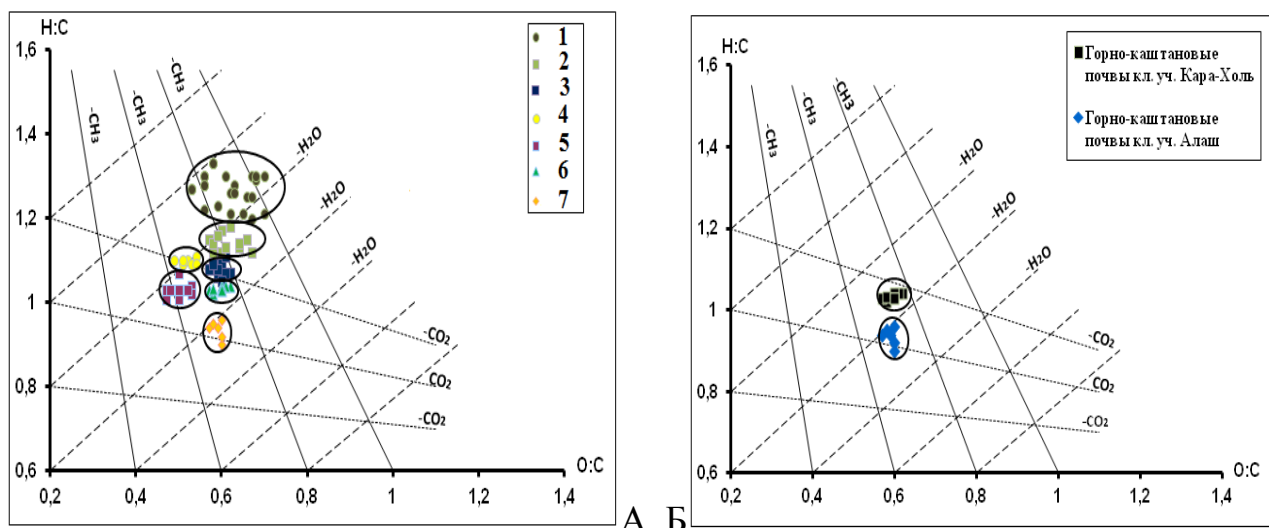


Рис. 2. Поля распределения показателей элементного состава в координатах $H:C—O:C$ гуминовых кислот почв западной части Тувы: А – почв разных условий формирования. Обозначения: 1 – горно-тундровые почвы кл. уч. Монгун-Тайга, 2 – горно-тундровые дерновые почвы кл. уч. ут-Холь, 3 – горные тундрово-степные почвы кл. уч. Бора-Тайга, 4 – горно-луговые почвы кл. уч. Улуг-Хондере́й II, 5 – горные таежно-дерновые почвы кл. уч. Ак-Довурак, 6 – горно-каштановые почвы кл. уч. Хондере́й и Кара-Холь, 7 – горно-каштановые почвы кл. уч. Алаш; Б – горно-каштановых почв западной части Тувы

Сравнение массивов данных по $H:C$ в ГК горно-каштановых почв западной части Тувы показало, что ГК существенно различаются по соотношению элементов в их составе (рис. 2 Б). Гуминовые кислоты кл. уч. Алаш, находящегося в более теплых и подветренных южных его районах, выделяются повышенными абсолютными величинами $H:C$ и существенно меньшими – $O:C$. Массив ГК почв кл. уч. Кара-Холь, локализованного в относительно более холодных и

наветренных районах, отличается от предыдущего меньшей метилированностью макромолекул (рис. 2 Б).

Анализ величин Н:С гуминовых кислот почв западной части Тувы и аналогичных им почв других регионов России (табл. 2), показал, что они имеют определенную специфику, которая заключается в существенном отличии их по этой характеристике, исключая близкие величины Н:С в горно-тундровых почвах Западной Тувы и Центрального Горного Алтая.

Таблица 2. Среднестатистические величины Н:С гуминовых кислот почв тундровых и степных условий формирования (данные по Западной Сибири, Горному Алтаю и ЕТР, Дергачева и др., 2012а)

Объекты	n	X±m для Н:С в ГК
<i>Почвы тундровых условий формирования</i>		
Горно-тундровая почва массива Монгун-Тайга (разрез 9)*	6	1,29±0,12
Горно-тундровые почвы западной части Тувы	34	1,30±0,07
Почвы тундровых и лесотундровых ландшафтов Западной Сибири	28	1,46±0,13
Почвы горных тундровых ландшафтов Центрального Горного Алтая	21	1,24±0,15
<i>Почвы степных равнинных и горных условий формирования</i>		
Почвы горно-степных условий ключевого участка Алаш	10	0,92±0,03
Почвы горно-степных условий ключевого участка Кара-Холь	12	1,08±0,05
Почвы горно-степных условий западной части Тувы	43	1,03±0,11
Почвы степных ландшафтов Западной Сибири	28	0,76±0,06
Почвы степных ландшафтов Центрального Горного Алтая	49	0,79±0,10
Почвы степных ландшафтов ЕТР	53	0,78±0,11

* Величина Н:С определена для всех горизонтов профиля, и её изменение внутри профиля свидетельствует о том, что почва разреза 9 все время формировалась в условиях тундры

Наличие статистически значимых массивов данных по элементному составу ГК горно-тундровых почв позволили выбрать корректные ряды для выявления связей между положением почв в геоморфологическом профиле, а также экспозицией склона с соответствующей им растительностью, с соотношением структурообразующих элементов в ГК (табл. 3). Анализ показал, что ГК почв, расположенных на разных позициях склонов северо-западной и северо-восточной экспозиции с соответственно травянисто-лишайниково-дриадовой и травянисто-мохово-кустарничковой растительностью, в условиях тундры практически не отличаются друг от друга.

Таблица 3. Сравнение среднестатистических величин соотношения элементов в гуминовых кислотах горно-тундровых почв на склонах разной экспозиции ключевого участка Монгун-Тайга

Положение по катене	n	Н:С	О:С	С:N	n	Н:С	О:С	С:N
<i>Склон северо-восточной экспозиции с травянисто-лишайниково-дриадовой растительностью</i>					<i>Склон северо-западной экспозиции с травянисто-мохово-кустарничковой растительностью</i>			
Эль	4	1,26±0,04	0,70±0,03	17,87±0,58	3	1,25±0,05	0,70±0,01	16,04±0,25
Транс	6	1,26±0,08	0,69±0,10	17,86±0,61	3	1,21±0,05	0,69±0,04	17,33±0,23
Ак	4	1,25±0,02	0,68±0,02	17,05±0,92	4	1,27±0,16	0,69±0,05	17,97±0,91
В целом	14	1,26±0,08	0,69±0,11	17,59±1,45	10	1,24±0,11	0,69±0,06	17,11±1,59

Сравнение этих массивов с использованием критерия Стьюдента показало, что различия во всех случаях не значимы (см. табл. 5 в диссертации).

В целом, ГК почв разных условий формирования, имеющие специфический элементный состав, отличающий их от ГК почв аналогичных природных условий других регионов России, образующий четкие поля его распределения в координатах Н:С—О:С, характеризующийся незначительным варьированием в пределах единых климатических рубежей, могут использоваться для диагностики условий природной среды как на уровне региона, так и локальных его территорий.

4.2. Спектральные характеристики гуминовых кислот почв разных условий формирования включают анализ спектров в УФ, видимой и ИК областях, а также спектров ^{13}C ЯМР и флуоресценции (СФ).

4.2.1. Спектральные характеристики в УФ и видимой области спектра

В абсолютном числе случаев электронные спектры гуминовых кислот почв западной части Тувы имеют пологий монотонный абрис и отличаются только углом наклона к оси абсцисс. Само сравнение абриса спектров уже дает возможность констатировать различия ГК почв разных условий формирования на качественном уровне. Анализ рассчитанных на основе этих спектров коэффициентов цветности ($E_{465}:E_{650}$, в дальнейшем по тексту $E_4:E_6$) и экстинкции ($E^{0,001\% \text{ ГК}}$ в дальнейшем по тексту – $E^{\text{ГК}}$) для ГК почв разных условий формирования (табл. 4) показал, что наиболее высокие величины $E_4:E_6$ и наиболее низкие – $E^{\text{ГК}}$ свойственны ГК горно-тундровых почв разных районов исследуемой территории Тувы. Так, для ГК тундровых примитивных почв (кл. уч. Монгун-Тайга) $E_4:E_6$ превышает 7,0, тогда как ГК почв другого кл. уч-ка – Бора-Тайга, расположенного на границе со степными участками, имеют величину этого коэффициента, близкую к степным – 3,8–4,1. Наблюдаются резкие различия $E_4:E_6$ ГК горно-каштановых почв разных условий формирования: на более холодных наветренных склонах (кл. уч. Кара-Холь), этот коэффициент составляет около 4,5, на более теплых подветренных склонах (кл. уч. Алаш) – не более 3,3 (табл. 4). По критерию Стьюдента коэффициенты цветности гуминовых кислот горно-каштановых почв, сформированных в разных условиях, достоверно различаются между собой (коэффициент достоверности: расчетный – 4,29; при $p \leq 0,01 = 3,17$; при $p \leq 0,05 = 2,23$).

Таблица 4. Оптические свойства гуминовых кислот горизонта А почв, локализованных на разных ключевых участках западной части Тувы

Ключевой участок	n	$E^{0,001\% \text{ ГК}}$ $E_{\lambda 465 \text{ nm}, l=1 \text{ cm}}$	$E_{465}:E_{650}$	Тип почвы
Монгун-Тайга	20	0,030±0,001	7,21±0,98	Горно-тундровые примитивные
Сут-Холь	9	0,033±0,002	6,23±0,61	Горно-тундровые дерновые
Бора-Тайга	15	0,062±0,005	3,96±0,26	Горные тундро-степные
Ак-Довурак	6	0,056±0,008	3,85±0,37	Горно-таежные дерновые
Хондерегей	7	0,050±0,016	4,49±0,43	Горно-каштановые
Кара-Холь	8	0,060±0,011	4,51±0,46	Горно-каштановые
Шуй	7	0,061±0,010	3,57±0,23	Горно-каштановые
Алаш	6	0,096±0,004	3,29±0,58	Горно-каштановые

Еще одна спектральная характеристика ГК – коэффициент $E^{ГК}$ – в почвах, сформированных на склонах разных экспозиций в пределах районов с близкими климатическими параметрами, различается несущественно (табл. 5).

Таблица 5. Сравнение среднестатистических величин спектральных свойств гуминовых кислот горно-тундровых почв на склонах разной экспозиции ключевого участка Монгун-Тайга

Положение по катене	n	$E^{0,001\% \text{ ГК}}_{\lambda 465 \text{ nm}, l=1 \text{ cm}}$	$E_{465}:E_{650}$	M_1	n	$E^{0,001\% \text{ ГК}}_{\lambda 465 \text{ nm}, l=1 \text{ cm}}$	$E_{465}:E_{650}$	M_1
<i>Склон северо-восточной экспозиции с травянисто-лишайниково-дриадовой растительностью</i>					<i>Склон северо-западной экспозиции с травянисто-мохово-кустарничковой растительностью</i>			
Эль	3	0,03±0,002	5,67±0,33	443±0,55	3	0,03±0,003	7,20±0,22	444±0,28
Транс	5	0,03±0,006	6,20±0,68	446±0,13	3	0,03±0,002	7,21±0,37	443±0,66
Ак	3	0,03±0,001	6,19±0,12	443±0,09	3	0,03±0,004	7,15±0,97	445±0,22
В целом	11	0,03±0,003	6,02±0,52	444±0,41	9	0,03±0,001	7,17±0,69	444±0,82

Так, в гумидных районах коэффициент $E^{ГК}$ тундровых почв разной локализации (кл. уч. Монгун-Тайга и Сут-Холь) имеет близкие величины, составляющие в среднем 0,030–0,033 (табл. 4), которые сопоставимы с данными, приводимыми для тундровых почв ЕТР Д.С. Орловым (1990). В то же время этот коэффициент существенно отличается в тундровых почвах, на формирование которых оказывала влияние степная растительность. В таких почвах его величина имеет повышенные значения (например, в ГК горных тундро-степных почвах кл. уч. Бора-Тайга – почти в 2 раза).

По коэффициенту $E^{ГК}$ горно-каштановые почвы делятся на две группы: сформированные в условиях наветренных склонов (кл. уч. Кара-Холь, Шуй, Хондергей) и подветренных склонов (кл. уч. Алаш) (см. табл. 4). В первом случае величина $E^{ГК}$ лежит в пределах 0,050–0,060, во втором – она в 1,5 раза выше. Эти ГК имеют более низкие величины $E^{ГК}$ по сравнению со значениями, приводимыми Д.С. Орловым (1990) для каштановых почв ЕТР.

Таким образом, в целом, в пределах единых климатических рубежей коэффициент $E^{ГК}$ колеблется незначительно, независим от экспозиции склона и позиции в геоморфологическом профиле. В почвах под разной растительностью он практически одинаков (см. табл. 5), тогда как коэффициент $E_4:E_6$ в ГК почв, сформированных на склонах разной экспозиции с разной растительностью, различаются более существенно, варьирование его величин происходит в более широких пределах, и различия значимы.

4.2.2. Спектральный анализ гуминовых кислот в ИК области

ИК-спектры ГК почв западной части Тувы разных условий формирования – от тундры до степи – имеют типичный для этих природных веществ абрис и закономерные изменения в изученных почвах соотношений ряда полос поглощения. Расчет отношений интенсивности полос поглощения кислородсодержащих групп к алкильным заместителям и ароматическим полисопряженным группам (табл. 6) по Н.В. Юдиной и В.Д. Тиховой (2003) показал, что в ряду от горно-тундровых до каштановых почв постепенно уменьшаются величины соотношения функциональных групп ГК (валентные колебания при 3400 см^{-1} и 1610 см^{-1}), что может быть связано с повышением количества ароматических

полисопряженных структур в макромолекулах ГК и снижением доли гидроксильных групп, связанных межмолекулярными водородными связями. Расширение соотношений при длинах волн 1720 см^{-1} к 1610 см^{-1} , а также 1225 см^{-1} к 1610 см^{-1} может указывать на повышение роли карбоксильных групп в структуре макромолекул ГК в этом же ряду почв. В этом же направлении наблюдается уменьшение величины соотношения полос поглощения при длинах волн при 3400 и 2920 см^{-1} , которое индицирует преобладание дегидратации над деалкилизацией ГК в процессе потепления и аридизации климата.

Таблица 6. Соотношение интенсивностей полос поглощения функциональных групп гуминовых кислот почв разных условий формирования на территории западной части Тувы по данным ИК-спектроскопии

Соотношение оптических плотностей						
Почва, разрез, ключевой участок	$\text{OH}_{3400}/\text{C}=\text{C}_{1610}$	$\text{C}=\text{O}_{1720}/\text{C}=\text{C}_{1610}$	$\text{Calk}_{2920}/\text{C}=\text{C}_{1610}$	$\text{CO}_{1225}/\text{C}=\text{C}_{1610}$	$\text{OH}_{3400}/\text{Calk}_{2920}$	$\text{CO}_{1225}/\text{Calk}_{2920}$
Горно-тундровая примитивная (р. 2, Монгун-Тайга-I)	2,13	0,67	1,67	0,38	5,10	0,90
Горно-тундровая дерновая (р. 207 Сут-Холь)	1,89	0,63	1,58	0,42	3,27	0,73
Горная тундро-степная (р. 213, Бора-Тайга)	1,78	0,89	1,53	0,89	2,29	0,74
Горно-каштановая (р. 171, Кара-Холь)	1,62	1,08	1,08	0,65	1,50	0,61
Горно-каштановая (р. 80, Хондерег)	1,62	1,05	1,04	0,67	1,57	0,56
Горно-каштановая (р. 191, Алаш)	1,44	1,07	0,67	0,78	1,40	0,59

4.2.3. Спектроскопия ^{13}C ЯМР

Для количественной характеристики спектров ^{13}C ЯМР ГК почв разных условий формирования они были разбиты на интервалы интегрирования в соответствующих диапазонах: 0–65 м.д. – сигналы алифатических атомов углерода; 65–90 – сигналы атомов углерода полисахаридных групп; 90–160 м.д. – сигналы ароматических атомов углерода; 160–180 м.д. – сигналы атомов углерода карбоксильных групп (Калабин и др., 2000) (табл. 7).

Таблица 7. Интегральные интенсивности различных областей ^{13}C ЯМР спектров гуминовых кислот горизонта А почв западной части Тувы разных условий формирования

Карбоксильный углерод (160-180 м.д.)	Ароматический углерод (90-160 м.д.)	Полисахаридный углерод (65-90 м.д.)	Алифатический углерод (0-65 м.д.)	$\text{C}_{\text{ar}}:\text{C}_{\text{alk}}$
Горно-тундровые почвы, кл. уч. Монгун-Тайга, Сут-Холь, n=4				
11,05±1,76	28,57±7,00	14,68±2,15	45,87±5,02	0,65±0,22
Горные тундро-степные почвы, кл. уч. Бора-Тайга, n=1				
20,77	39,39	6,46	33,38	1,18
Горно-каштановые почвы, кл. уч. Кара-Холь, Алаш, n=4				
12,5±0,95	42,70±7,70	11,45±0,40	33,45±8,49	1,43±0,59
Почвы тундровых условий Западной Сибири*, n=6				
14,93±0,28	24,87±0,99	16,68±0,52	43,42±0,63	0,57±0,25
Почвы степных условий Западной Сибири*, n=5				
15,02±0,64	52,94±0,45	9,76±0,19	22,26±0,16	2,78±1,47

* Результаты вычислены по данным В.Д. Тиховой (2003)

Анализ спектров показал, что для горно-тундровых почв (кл. уч. Монгун-Тайга и Сут-Холь) характерна высокая доля в ГК алифатических фрагментов, превышающих более, чем в 1,5 раза ароматические группировки. В отличие от них в структуре ГК горных тундровых почв, испытывающих влияние степных условий, доля ароматических фрагментов повышена, и они преобладают почти в 1,2 раза над алифатическими компонентами. Спектры ^{13}C ЯМР ГК горно-каштановых почв, рассмотренные на примере объектов ключевых участков Кара-Холь и Алаш, отличаются повышенной долей ароматических фрагментов, составляющей более 40%, которая преобладает почти в 1,5 раза над алифатическими компонентами (табл. 7).

В целом, закономерности изменений ароматичности ГК, определяемой как соотношение основных структурообразующих компонентов в макромолекуле гуминовых кислот, аналогичны таковым в почвах Западной Сибири, и при кажущемся существенном различии между ними в этом отношении (например, в почвах степных условий формирования $2,78 \pm 1,47$ и $1,43 \pm 0,59$) это различие не существенно (для почв степных условий: $t_{\text{эмп}}=1,51$, $t_{\text{кр.}}$ при $p \leq 0,01 = 3,50$ и $p \leq 0,05 = 2,34$; для почв тундры: $t_{\text{эмп}}=0,40$, $t_{\text{кр.}}$ при $p \leq 0,01 = 3,36$ и $p \leq 0,05 = 2,31$). Таким образом, степень ароматичности ГК возрастает в ряду почв с увеличением теплообеспеченности и уменьшением гумидности (от тундры до степи).

4.2.4. Флуоресцентная спектроскопия

Четкие закономерности в изменении структурного состояния ГК почв разных условий формирования наблюдаются при сравнении спектров флуоресценции (СФ), особенно таких характеристик, как λ_{max} (длина волны положения максимума СФ), M_1 (первый момент) и α (отношение средневзвешенных интенсивностей в длинноволновой – I_2 – области к коротковолновой – I_1). Максимум флуоресценции ГК всех тундровых почв лежит в абсолютном большинстве случаев в пределах 420–424 нм, тогда как в ГК горно-дерновых почв он сдвинут в красную область примерно на 70 нм (табл. 8). Для ГК каштановых почв горных условий формирования, как правило, характерно положение максимума СФ в пределах 461–500 нм.

Таблица 8. Количественные характеристики спектров флуоресценции гуминовых кислот горизонта А почв разных условий формирования западной части Тувы

Ключевой участок	n	λ_{max} , nm	M_1 , nm	α^*
Горно-тундровые примитивные почвы				
Монгун-Тайга	18	$420 \pm 0,44$	$444 \pm 1,24$	$1,72 \pm 0,30$
Горно-тундровые дерновые почвы				
Сут-Холь	6	$424 \pm 0,45$	$460 \pm 0,89$	$2,76 \pm 1,10$
Горные тундро-степные почвы				
Бора-Тайга	9	$423 \pm 0,54$	$469 \pm 0,10$	$2,59 \pm 0,81$
Горно-таежные дерновые почвы				
Ак-Довурак	10	$490 \pm 0,45$	$480 \pm 0,89$	$4,89 \pm 0,21$
Горно-каштановые почвы				
Хондере́й	7	$461 \pm 0,12$	$481 \pm 0,58$	$4,79 \pm 1,33$
Кара-Холь	8	$467 \pm 0,33$	$479 \pm 0,81$	$4,60 \pm 1,12$
Алаш	5	$500 \pm 0,01$	$491 \pm 0,07$	$4,36 \pm 0,80$

* $\alpha = I_{\text{int}2}/I_{\text{int}1}$ – отношение интегральных интенсивностей длинноволновой к коротковолновой областей спектра

Среднестатистические величины первого момента ГК почв, сформированных в разных условиях западной части Тувы, показывают, что в горно-тундровых почвах M_1 лежит в пределах 444–460 нм, затем эта величина постепенно увеличивается в ряду почв горно-тундровые → горные тундро-степные → горно-таежные дерновые → горно-каштановые. Максимальная величина M_1 для ГК горно-каштановой почвы кл. уч. Алаш составляет около 491 нм. Еще одна количественная характеристика СФ, характеризующая свойства ГК почв разных условий формирования, – коэффициент α – в этом же ряду также закономерно изменяется в связи со сложностью строения макромолекулы ГК, хотя при этом варьирование этой характеристики наиболее высокое (табл. 8).

Как в случае элементного состава и оптических свойств ГК горно-тундровых почв, расположенных в пределах единых климатических рубежей на разных позициях склонов северо-западной и северо-восточной экспозиции с соответственной им травянисто-лишайниково-дриадовой и травянисто-мохово-кустарничковой растительностью, основные показатели флуоресценции этого почвенного компонента практически не отличаются друг от друга. Оценка сравниваемых массивов по критерию Стьюдента показала, что различия во всех случаях не значимы (см. табл. 5).

Таким образом, изучение спектральных характеристик позволили выявить такие свойства ГК почв, которые откликаются на изменения внешней среды локального характера, отражаются в макромолекуле в виде большего варьирования отдельных признаков ГК (таких, например, как соотношение $E_4:E_6$, или соотношений флуоресценции при длинноволновом и коротковолновом диапазонах спектра). Как показали данные, часть характеристик является более устойчивой, менее варьирующей и связанной с изменением экологических условий в пространстве. Такие показатели ГК, как соотношение в элементном составе $N:C$, коэффициент $E^{ГК}$, положение максимумов флуоресценции при постоянной длине волны возбуждения, а также величина первого момента этих спектров, могут использоваться для характеристики гуминовых кислот как памяти почв.

Глава 5. Экологическая обусловленность состава, структуры и свойств гуминовых кислот основных почв западной части Тувы

Одним из актуальных вопросов в познании экологической обусловленности состава, структуры и свойств гуминовых кислот является вопрос о возможности использования этого почвенного компонента в качестве индикатора состояния природной среды. Поскольку почвы и почвенные компоненты при их формировании зависят от сочетания экологических условий каждого локального участка, на котором они формируются, возникает необходимость выявления количественных связей между параметрами климатических условий на мезоуровне (т.е. для каждого индивидуального разреза почвы) и спецификой их состава, строения и свойств.

Для реализации отмеченных выше задач в главе приведены для каждого индивидуального почвенного разреза на всех ключевых участках расчетные количественные характеристики климатических условий, рассчитанных согласно полученным ранее Н.Н. Рябовой, Е.Э. Ондар и уточненным нами для районов

территории западной Тувы уравнениям регрессий. Полученные таким путем показатели климата использовались при оценке корреляций между ними и параметрами состава и свойств гуминовых кислот. Обнаружена статистически достоверная связь этих параметров с показателями среднегодовой температуры, среднегодовых осадков и суммой активных температур (табл. 9).

Таблица 9. Коэффициенты корреляции между основными показателями состава и свойств гуминовых кислот и климатическими параметрами

Климатический показатель	Коэффициенты корреляции			
	Н:С	E ^{ГК}	E ₄₆₅ :E ₆₅₀	M ₁
Для всего массива полученных данных				
Среднегодовая температура воздуха, °С	0,86	0,73	0,73	0,86
Среднегодовое количество осадков, мм	0,82	0,78	0,77	0,92
Σt >10 °С	0,87	0,75	0,75	0,79
Для массива данных, характеризующих почвы гумидных условий формирования				
Среднегодовая температура воздуха, °С	0,93	0,81	0,83	0,99
Среднегодовое количество осадков, мм	0,76	0,87	0,81	0,89
Σt >10 °С	0,83	0,72	0,66	0,77
Для массива данных, характеризующих почвы аридных условий формирования				
Среднегодовая температура воздуха, °С	0,77	0,76	0,75	0,73
Среднегодовое количество осадков, мм	0,83	0,84	0,76	0,75
Σt >10 °С	0,80	0,73	0,63	0,76

Рассчитанные коэффициенты корреляции между Н:С и основными спектральными характеристиками (E^{ГК}, E₄:E₆, M₁) сформированных в гумидных и аридных условиях гуминовых кислот почв западной части Тувы, позволили выявить между ними четкую зависимость (табл. 10).

Таблица 10. Коэффициенты корреляции между Н:С и другими характеристиками гуминовых кислот

Показатель	Коэффициент корреляции		
	E ^{ГК}	E ₄₆₅ :E ₆₅₀	M ₁
Весь массив данных	0,92	0,82	0,74
Почвы гумидных условий	0,93	0,89	0,96
Почвы аридных условий	0,91	0,85	0,70

Анализ взаимосвязи климатических параметров и Н:С показал, что гуминовые кислоты, имеющие определенные величины соотношения этих структурообразующих элементов, формируются при определенных температурных и влажностных природных условиях (рис. 3). На представленном рисунке четко видно, что при величине Н:С с существенным преобладанием водорода над углеродом гуминовые кислоты формируются в суровых и влажных условиях, тогда как Н:С меньше 1,0 сопоставимо с условиями теплого и сухого климата.

Для определения экологических диапазонов формирования гуминовых кислот в координатах среднегодовой температуры воздуха, среднегодовые осадки, сумма температур >10 °С было использовано соотношение структурообразующих элементов водорода и углерода с шагом изменения величины Н:С, равным 0,5. В результате были установлены зависимости формирования гуминовых кислот с разными параметрами (в частности, пределами отношения Н:С) от среднегодовой температуры воздуха, осадков и суммы активных температур (рис.4).

Аналогичные диапазоны могут быть рассчитаны на основе других параметров ГК, которые, как показано выше, тесно связаны между собой.

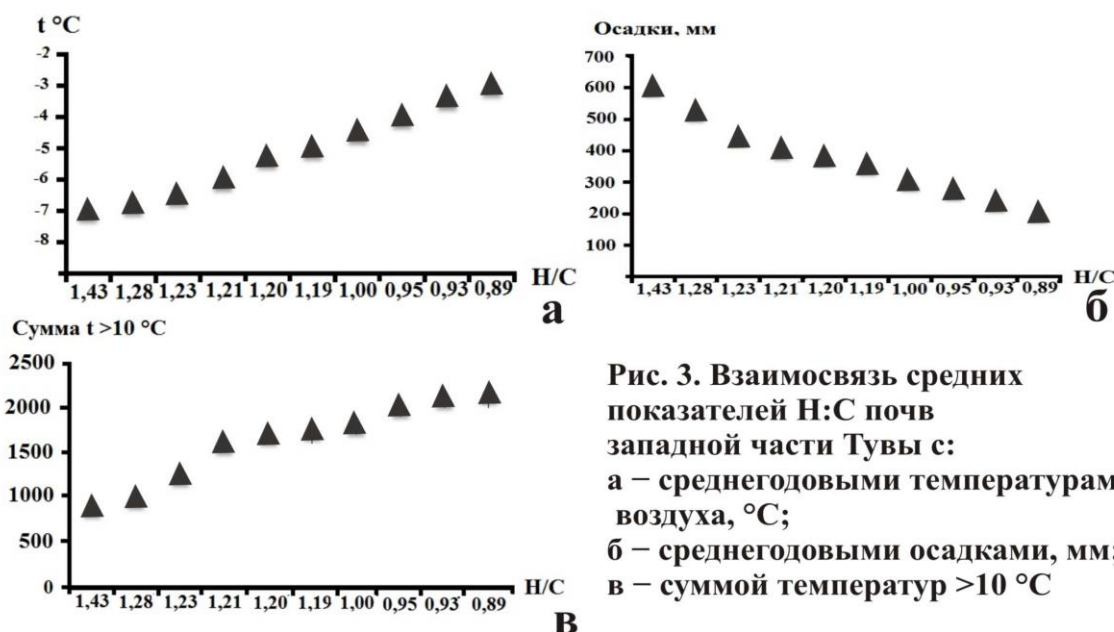


Рис. 3. Взаимосвязь средних показателей Н:С почв западной части Тувы с:
а – среднегодовыми температурами воздуха, °C;
б – среднегодовыми осадками, мм;
в – суммой температур >10 °C

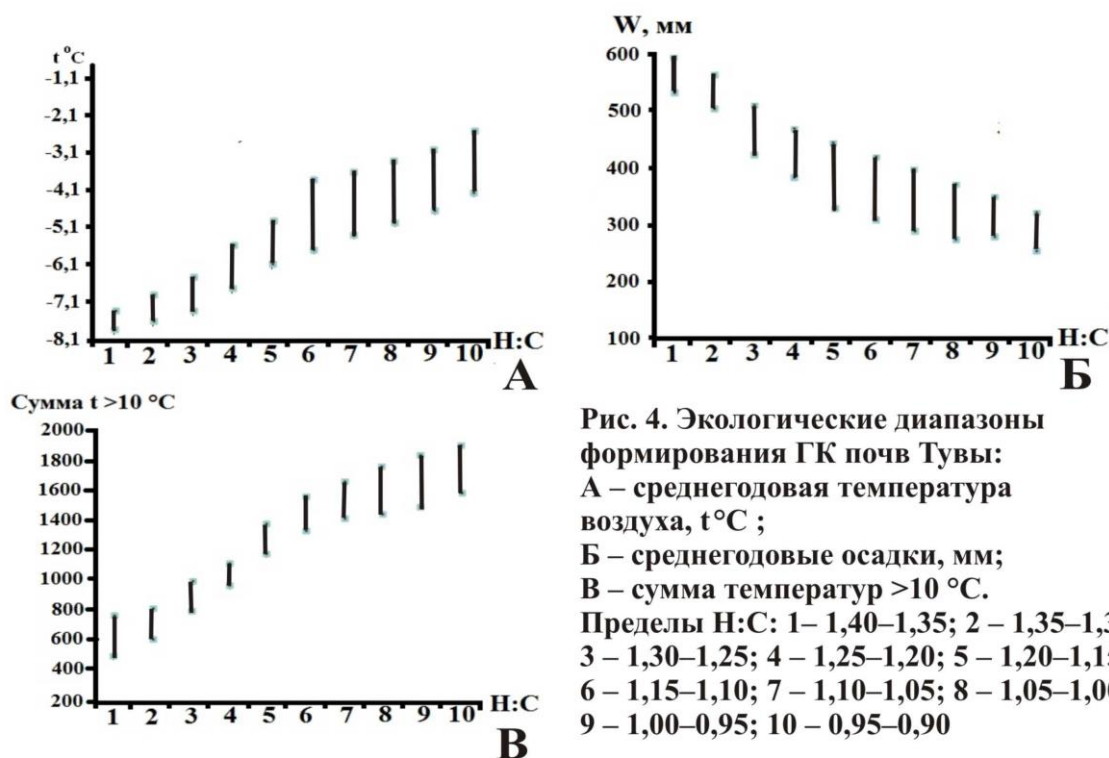


Рис. 4. Экологические диапазоны формирования ГК почв Тувы:
А – среднегодовая температура воздуха, t °C ;
Б – среднегодовые осадки, мм;
В – сумма температур >10 °C.
 Пределы Н:С: 1 – 1,40–1,35; 2 – 1,35–1,30;
 3 – 1,30–1,25; 4 – 1,25–1,20; 5 – 1,20–1,15;
 6 – 1,15–1,10; 7 – 1,10–1,05; 8 – 1,05–1,00;
 9 – 1,00–0,95; 10 – 0,95–0,90

Таким образом, полученные количественные показатели эколого-гумусовых связей для почв разных условий формирования западной части Тувы и выявленные экологические диапазоны среднегодовых температур воздуха, осадков и суммы активных температур для ГК почв разных условий формирования, имеющих определенные пределы величин соотношения основных компонентов и спектральных характеристик, могут использоваться при диагностике состояния природной среды и ее мониторинге, а также в качестве основы при экологических реконструкциях с разными целями.

Заключение

Анализ полученных материалов, отражающих разнообразие гуминовых кислот почв западной части Тувы по составу, свойствам и структурным особенностям и их связь с экологическими условиями формирования, позволяет отметить следующее.

Гуминовые кислоты почв западной части Тувы разных экологических условий формирования обладают специфичностью, которая проявляется в различающихся показателях их состава, строения и свойств не только в почвах разных типов и подтипов, но и в иных абсолютных значениях Н:С гуминовых кислот, также количественных характеристик спектральных свойств по отношению к почвам аналогичных условий формирования других регионов России.

Элементный состав гуминовых кислот почв имеет специфические пределы колебаний, отражающиеся в наличии индивидуальных полей распределения в координатах Н:С — О:С с практически не пересекающимися границами. При сравнении почв разных условий формирования выявлено, что в ряду почв тундровые — лесные — степные наблюдается дегидратация и деметилирование макромолекул гуминовых кислот. Гуминовые кислоты лесных условий образования менее гидратированы, чем тундровых, а ГК почв степных условий — чем лесных.

Почвы, распространенные в гумидных условиях, формирующиеся в пределах одной местности ландшафта с близкими климатическими параметрами, характеризуются одинаковыми количественными параметрами гуминовых кислот (соотношением структурообразующих элементов, величинами коэффициентов экстинкции и первого момента), которые не зависят от экспозиции склона, положения почв в геоморфологическом профиле и растительного сообщества.

Гуминовые кислоты горно-каштановых почв, формирующиеся при разных климатических режимах: сухих относительно теплых и более холодных — четко различаются по соотношению основных элементов и спектральным свойствам.

Гуминовые кислоты почв западной части Тувы разных условий формирования имеют типичный для этого класса природных веществ абрис инфракрасных спектров, но при этом закономерно проявляющиеся изменения в соотношении основных полос поглощения в ряду от тундровых почв до степных.

Коэффициенты цветности ($E_4:E_6$) гуминовых кислот и соотношение в них интегральных интенсивностей флуоресценции в разных областях спектра (α) наиболее сенсорны к изменениям природной среды на локальном уровне, что проявляется в существенном варьировании их величин даже в пределах единых климатических рубежей и достоверными различиями для почв, сформированных на склонах разных экспозиций с разными растительными сообществами.

Впервые полученные для почв западной части Тувы данные о флуоресценции гуминовых кислот, отражающей сложность организации их макромолекул, позволили выявить специфику их структурного состояния, которая проявляется в положении максимума флуоресценции, величине M_1 и соотношении величин интегральных интенсивностей в длинноволновой и коротковолновой областях

спектра. Четко прослеживаемая корреляция первого момента спектров флуоресценции гуминовых кислот с соотношением в их элементном составе водорода и углерода (зависящего от соотношения тепла и влаги) позволяет использовать этот легко получаемый параметр в качестве экспрессного индикатора оценки состояния природной среды и в качестве дополнительного источника информации об условиях и эволюции почвообразования.

Величина соотношения элементов Н:С, коэффициенты экстинкции, а также основные характеристики флуоресценции гуминовых кислот почв западной части Тувы тесно связаны между собой (коэффициенты корреляции колеблются в среднем в пределах 0,75–0,90) и с основными климатическими характеристиками (коэффициенты корреляции колеблются в пределах 0,77–0,93). Для территории Тувы соответствия конкретных параметров соотношения основных структурообразующих элементов (Н:С) с параметрами среднегодовых температур воздуха и осадками установлены впервые.

Спектральные характеристики позволили выявить такие свойства гуминовых кислот, которые появляются в ответ на изменения внешней среды локального характера, и такие свойства, которые четко отражают региональную специфику географических условий их формирования. В первом случае, соответствующем существенным, но кратковременным (локальным) изменениям внешних условий, они могут регистрироваться в виде изменчивости отдельных признаков гуминовых кислот, таких, например, как соотношение $E_4:E_6$, или изменение соотношений флуоресценции при длинноволновом и коротковолновом диапазонах спектра (α), во втором – характеризоваться отсутствием отклика на локальные изменения окружающей среды и меньшей изменчивостью признаков. Такие показатели ГК, как соотношение в элементном составе Н:С, коэффициент экстинкции, положение максимумов флуоресценции при постоянной длине волны возбуждения, а также величина первого момента, не откликаются существенными изменениями на локальные влияния окружающей среды, индицируют условия своего формирования и могут использоваться для характеристики гуминовых кислот как памяти почв.

Установленные эколого-гумусовые связи для гуминовых кислот почв западной части Тувы и выявленные значения экологических диапазонов среднегодовых температур воздуха, осадков и суммы активных температур ($t \geq 10^\circ\text{C}$) для ГК почв разных условий формирования, имеющих определенные пределы величин соотношения основных элементов и спектральных характеристик, могут использоваться при диагностике состояния природной среды и мониторинге, а также в качестве основы при экологических реконструкциях с разными целями.

Список опубликованных работ по теме диссертации

Статьи в журналах, включенных в Перечень российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук:

1. **Бажина Н. Л.** Элементный состав гуминовых кислот почв западной части территории Тувы / Н. Л. Бажина, Е. Э. Ондар, К. О. Очур, М. И. Дергачева // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2013. – № 10 (159). – С. 233–236. – 0,36 / 0,2 п.л.

2. **Бажина Н. Л.** Специфика поглощения света в видимой и ультрафиолетовой области спектра гуминовыми кислотами почв западной части территории Тувы / Н. Л. Бажина, Е. Э. Ондар, Ю. М. Дерябина // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2014. – № 6 (167). – С. 189–194. – 0,55 / 0,35 п.л.

3. Ондар Е. Э. Гумус горно-таежных дерновых почв Тоджинской котловины (северо-восточная часть Тувы) / Е. Э. Ондар, М. И. Дергачева, **Н. Л. Бажина**, К. О. Очур // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2015. – № 6 (181). – С. 131–138. – 0,61 / 0,2 п.л.

4. **Бажина Н. Л.** Состав гумуса горно-тундровых почв западной части Тувы / Н. Л. Бажина, Е. Э. Ондар, К. О. Очур, М. И. Дергачева // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2015. – № 10 (185). – С. 143–146. – 0,4 / 0,2 п.л.

5. Дергачева М. И. Экологическая обусловленность состава и свойств гуминовых кислот почв западной части Тувы / М. И. Дергачева, **Н. Л. Бажина**, Е. Э. Ондар, К. О. Очур, Н. Н. Рябова // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2015. – № 10 (185). – С. 162–165. – 0,42 / 0,1 п.л.

6. Учаев А. П. Природные условия формирования палеопочв первой трети субатлантического периода в разрезе Батурино (Южный Урал) / А. П. Учаев, О. А. Некрасова, М. И. Дергачева, **Н. Л. Бажина**, П. Н. Калинин // Вестник КрасГАУ. – 2015. – № 11. – С. 57–67. – 0,91 / 0,2 п.л.

Публикации в прочих научных изданиях:

7. **Бажина Н. Л.** Состав гумуса поверхностных палеопочв Тувы / Н. Л. Бажина, К. О. Очур, Е. Э. Ондар // Почвы, палеопочвы и формирующая их природная среда: материалы III Международной научной молодежной школы по палеопочвоведению «Палеопочвы – хранители информации о среде прошлого». Новосибирск – п. Володарка Алтайского края, 01–06 августа 2012 г. – Новосибирск, 2012. – С. 5–13. – 0,3 / 0,2 п.л.

8. Ондар Е. Э. Гумусовые профили некоторых почв Алашского нагорья (Западная Тува) / Е. Э. Ондар, **Н. Л. Бажина** // Экосистемы Центральной Азии: исследования, сохранение, рациональное использование: материалы XI Убсунурского международного симпозиума. Кызыл, 03–08 июля 2012 г. – Кызыл, 2012. – С. 168–171. – 0,26 / 0,1 п.л.

9. **Бажина Н. Л.** Элементный состав гуминовых кислот горно-каштановых почв Алашского нагорья Тувы / Н. Л. Бажина, Е. Э. Ондар // Палеопочвы, со-

временные почвы и их взаимосвязь с природной средой: материалы IV Международной научной молодежной школы по палеопочвоведению «Палеопочвы – хранители информации о природной среде прошлого». Новосибирск – п. Володарка Алтайского края, 30 июля – 04 августа 2013 г. – Новосибирск, 2013. – С. 3–7. – 0,19 / 0,1 п.л.

10. **Бажина Н. Л.** Элементный состав гуминовых кислот горно-тундровых почв массива Монгун-Тайга (Тува) / Н. Л. Бажина // Гуминовые вещества в биосфере: материалы VI Всероссийской научной конференции с международным участием. Сыктывкар, 06–10 октября 2014 г. – Сыктывкар, 2014. – С. 43–46. – 0,13 п.л.

11. **Бажина Н. Л.** Оптические показатели гуминовых кислот тундровых почв горного массива Монгун-Тайга (Тува) / Н. Л. Бажина, Е. Э. Ондар, Ю. М. Дерябина // Почвы, палеопочвы и диагностика палеоприродной среды: материалы V Международной научной молодежной школы по палеопочвоведению «Палеопочвы – хранители информации о природной среде прошлого. Новосибирск – п. Володарка Алтайского края, 30 июля – 04 августа 2014 г. – Новосибирск, 2014. – С. 68–71. – 0,21 / 0,1 п.л.

12. Очур К. О. Состав гумуса датированных горизонтов [А] голоценового времени разреза Улуг-Хондергей и реконструкция условий их формирования (Тува) / К. О. Очур, **Н. Л. Бажина**, Е. В. Миляева // Почвы археологических, геологических объектов и фоновых территорий: материалы VI Международной научной молодежной школы по палеопочвоведению «Палеопочвы – хранители информации о природной среде прошлого». Новосибирск, 23–28 августа 2015 г. – Новосибирск, 2015. – С. 47–49. – 0,18 / 0,05 п.л.

13. **Бажина Н. Л.** Гумусовые профили современных почв западной части территории Тувы / Н. Л. Бажина, Е. Э. Ондар, К. О. Очур // Биоразнообразие и сохранение генофонда флоры, фауны и народонаселения Центрально-Азиатского региона: материалы IV Международной научно-практической конференции. Кызыл, 01–04 октября 2015 г. – Кызыл, 2015. – С. 145–149. – 0,28 / 0,2 п.л.

14. Дерябина Ю. М. Новый подход к сравнительному анализу ИК-спектров гуминовых кислот с использованием системы ИК ЭКСПЕРТ / Ю. М. Дерябина, Т. А. Корнакова, **Н. Л. Бажина**, В. Д. Тихова // II Всероссийская конференция по аналитической спектроскопии с международным участием: материалы конференции. Краснодар, 27 сентября – 3 октября, 2015 г. – Краснодар, 2015. – С. 180. – 0,1 / 0,05 п.л.

Подписано к печати 13.04.2016. Формат 60X84 1/16.
Объем 1,0 п.л. Тираж 100 экз. Заказ № 54.
Отпечатано в Издательском доме ООО «Окарина»,
г. Новосибирск, ул. Ленина, 9