

*На правах рукописи*

БАЛДАНОВА Алла Николаевна

**ГУМУС В МОРОЗОБОЙНЫХ ТРЕЩИНАХ  
МЕРЗЛОТНЫХ ПОЧВ ВИТИМСКОГО ПЛОСКОГОРЬЯ**

**Специальность 03.00.27 – почвоведение**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук

Улан-Удэ

2009

Работа выполнена в лаборатории биохимии почв Института общей и экспериментальной биологии СО РАН

**Научный руководитель:** доктор сельскохозяйственных наук, профессор **Г.Д. Чимитдоржиева**

**Официальные оппоненты:** доктор биологических наук, Абашеева Надежда Ефимовна  
кандидат биологических наук Митупов Чимит Цыденжапович

**Ведущая организация:** ФГНУ Институт прикладной экологии Севера (г. Якутск)

Защита состоится «26» июня 2009 г. в «13» час. на заседании диссертационного Совета Д. 003.028.01 в Институте общей и экспериментальной биологии Сибирского отделения РАН по адресу: 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6; факс (3012) 433034; e-mail: ioeb@biol.bscnet.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Бурятского научного центра СО РАН и на сайте [www.igaeb.bol.ru](http://www.igaeb.bol.ru).

Автореферат разослан «25» мая 2009 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
доктор биологических наук

М.Г. Меркушева

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность.** К настоящему времени выявлены особенности генезиса и разнообразия почв криолитозоны Забайкалья, изучены физические свойства и режимы, дана характеристика органического вещества и состава гумуса (Ногина, 1964; Ишигенов, 1972; Куликов и др., 1986; Дугаров, Куликов, 1990; Чимитдоржиева, 1990; Абашеева, 1992; Куликов и др., 1997; Пигарева, Корсунов, 2004; Бадмаев и др., 2006; Чимитдоржиева и др., 2007). Тем не менее, изучение природы органического вещества, как одного из основных компонентов педосферы, остается актуальным в связи со значительными потерями гумуса в глобальном масштабе. В холодных и континентальных областях, занимающих 60 % территории России, снижение почвенного плодородия происходит в результате криогенных процессов, наиболее ярким проявлением которых является морозобойное растрескивание почв. По образовавшимся трещинам гумусовые вещества выносятся и распределяются по профилю в виде гумусовых «затеков», «карманов», «языков», которые представляют собой резервы законсервированного органического углерода, достигающие 100 т/га (Куликов, Соболев, 1986). При современной тенденции глобального потепления климата из мерзлотных почв может усиливаться эмиссия углекислого газа, поэтому существенный интерес представляет изучение состава и свойств гумусовых веществ в морозобойных трещинах почв криолитозоны Забайкалья.

**Цель работы** – исследовать состав гумуса в морозобойных трещинах мерзлотных лугово-черноземных, дерново-подзолистых и дерново-таежных почв Витимского плоскогорья.

### **Задачи исследований:**

1. Изучить физико-химические свойства мерзлотных лугово-черноземных, дерново-подзолистых и дерново-таежных почв.
2. Определить состав гумуса в собственно гумусовых горизонтах и морозобойных трещинах мерзлотных лугово-черноземных, дерново-подзолистых и дерново-таежных почв и выявить его особенности.
3. Установить состав и строение гуминовых кислот (ГК) и фульвокислот (ФК) из гумусовых горизонтов и морозобойных трещин на примере мерзлотных лугово-черноземных и дерново-подзолистых почв.

**Научная новизна.** Впервые изучен состав гумуса в морозобойных трещинах мерзлотных почв Витимского плоскогорья, где происходит накопление гумусовых веществ, возрастание степени и глубины гумификации, что отражается на структурно-функциональных параметрах гуминовых и фульвокислот. Выявлена трансформация макромолекул ГК с возрастанием обуглероженности, коэффициентов экстинкции и снижением содержания азота, что свидетельствует о большей конденсированности гуминовых кислот. Установлены различия в составе фульвокислот: в гумусовых затеках дерново-подзолистых почв аккумулируются ФК более обуглероженные и карбоксилированные, а в лугово-черноземных почвах – менее обуглероженные, по сравнению с ФК гумусовых горизонтов.

**Теоретическая и практическая значимость.** Полученные экспериментальные результаты пополняют имеющуюся базу данных по составу гумуса, гуминовых кислот и фульвокислот мерзлотных почв и послужат основой для корректировки показателей гумусного состояния почв в мерзлотных зонах России. Материалы исследований могут быть использованы в мониторинге деградационных колебаний многолетней мерзлоты, связанных с циклическими изменениями почвенного криогенеза, что особенно актуально при выраженной тенденции потепления климата.

#### **Защищаемые положения.**

1. В морозобойных трещинах мерзлотных почв происходит накопление гумуса с возрастанием степени и глубины гумификации органического вещества.
2. Независимо от типа почв в гуминовых кислотах морозобойных трещин увеличивается содержание углерода, повышается оптическая плотность и снижается содержание азота.
3. Состав и свойства фульвокислот из криогенных трещин мерзлотных почв определяются типом почв.

**Апробация работы.** Результаты исследований были представлены для обсуждения на Всероссийской конференции с международным участием «Биоразнообразие экосистем Внутренней Азии» (Улан-Удэ, 2006); Межрегиональной научно-практической конференции молодых ученых «Научный и инновационный потенциал Байкальского региона» (Улан-Удэ, 2006); Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов – 2006» (Москва, 2007);

Всероссийской конференции молодых ученых «Экология в современном мире: взгляд научной молодежи» (Улан-Удэ, 2007); Международной научно-практической конференции «Аграрная наука – сельскому хозяйству» (Барнаул, 2007); Международной научной конференции «Пространственно-временная организация почвенного покрова: теоретические и практические аспекты» (Санкт-Петербург, 2007), V Всероссийском съезде общества почвоведов (Ростов-на-Дону, 2008).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 10 работ, включая 3 статьи в журналах, входящих в список ВАК.

**Объем и структура работы.** Диссертация изложена на 129 страницах компьютерного набора и содержит введение, 5 глав, заключение, 24 таблицы, 13 рисунков и 3 фотографии. Список использованной литературы включает 178 наименований, в том числе 23 на иностранном языке.

**Личный вклад автора.** Диссертация является обобщением личных материалов, полученных в результате полевых и экспериментальных лабораторных исследований в 2005-2008 гг. в Институте общей и экспериментальной биологии СО РАН.

**Благодарности.** Автор выражает благодарность научному руководителю, д.с.-х.н., проф., Г.Д. Чимитдоржиевой и к.б.н., н.с. лаборатории биохимии почв ИОЭБ СО РАН О.В. Вишняковой за ценные советы и консультации при подготовке диссертационной работы.

## **Глава 1. Природные условия**

В главе дана характеристика основных факторов почвообразования Витимского плоскогорья (Еравнинская котловина): рельефа, почвообразующих пород, климата и растительности, а также отражено влияние многолетней мерзлоты на формирование и функционирование почв.

## **Глава 2. Объекты и методы исследований**

Объектами исследований послужили мерзлотные лугово-черноземные (Классификация..., 1977) или черноземы гидрометаморфизованные (Классификация..., 2004), дерново-подзолистые и дерново-таежные почвы (дерново-подзолы и дерново-подбуры), а также препараты гуминовых кислот (ГК) и

фульвокислот (ФК), выделенные из гумусовых горизонтов и морозобойных трещин.

Основные физико-химические свойства мерзлотных почв определены общепринятыми в почвоведении методами (Аринушкина, 1970; Агрохимические методы ..., 1975); содержание органического углерода – методом Тюрина в модификации Никитина, азот общий – колориметрическим методом в модификации Соловьевой и Рихтер. Групповой и фракционный состав гумуса изучен методом Тюрина в модификации Пономаревой и Плотниковой в гумусовых горизонтах лугово-черноземных почв (n=5), дерново-подзолистых почв, дерново-таежных почв и гумусовых затеках (n=3). Показатели гумусного состояния даны по Орлову (2004). Полученные данные обработаны статистически в среде электронной таблицы Microsoft Excel 2003 из пакета Microsoft Office.

Химический состав надземной и корневой частей травянистой растительности исследован на элементном анализаторе CHNS/O Series II фирмы PerkinElmer, содержание сырой клетчатки – по Геннебергу и Штоману, лигнина – гидролизом 72 %-ной  $H_2SO_4$ , жира – с применением аппарата Сокслетта.

Для изучения физико-химических параметров гумусовых кислот, формирующихся в условиях криогенеза, из образцов гумусового горизонта и морозобойных трещин мерзлотных почв были выделены препараты ГК и ФК. Для выделения гуминовых кислот применялось исчерпывающее экстрагирование по методике Орлова и Гришиной (1981). Зольность полученных препаратов ГК составляет 0,93-7,73 %. Фульвокислоты выделены классическим методом Форсита – адсорбцией на активированном угле. Очистка препаратов ФК от минеральных примесей проведена методом диализа. В препаратах ГК и ФК исследовали элементный состав на автоматическом элементном анализаторе CHNS/O, содержание кислорода рассчитано по разности. Электронные спектры поглощения получены на спектрофотометре «Agilent 8453». Общее содержание кислых функциональных групп определяли методом Драгуновой, карбоксильных групп – по Кухаренко. Содержание фенольных гидроксидов рассчитывали по разности.

### Глава 3. Характеристика мерзлотных почв

В главе приведены морфологические и физико-химические свойства мерзлотных почв Витимского плоскогорья.

**Лугово-черноземные** мерзлотные почвы характеризуются среднесуглинистым гранулометрическим составом, нейтральной реакцией среды в верхней части профиля, с глубиной переходящей в слабощелочную, средним содержанием гумуса (Орлов и др., 2004), обогащены азотом. Сумма обменных оснований составляет 36,2 мг-экв/100 г с преобладанием катионов кальция. Профиль почвы пронизан гумусовыми затеками по морозобойным трещинам до глубины 0,5 м. Содержание гумуса в затеках составляет в среднем 4,4 %, сумма кальция и магния – 24,3 мг-экв/100 г.

**Дерново-подзолистые** мерзлотные почвы имеют слабокислую реакцию ( $\text{pH}_{\text{вод}}$  6,2), с глубиной кислотность несколько увеличивается ( $\text{pH}_{\text{вод}}$  5,9). По гранулометрическому составу почва – среднесуглинистая. Содержание гумуса в верхнем горизонте классифицируется как ниже среднего. Сумма поглощенных оснований в гумусовом горизонте и затеке составляет соответственно 36,6 и 35,9 мг-экв/100 г, основная доля принадлежит кальцию.

**Дерново-таежная** мерзлотная почва среднесуглинистая, реакция среды кислая ( $\text{pH}$  5,7), кислотность возрастает с глубиной ( $\text{pH}$  5,1). В верхнем горизонте значение  $\text{pH}$  незначительно увеличено из-за биогенного накопления оснований, достигающих 31,5 мг-экв/100 г почвы, катионы  $\text{Ca}^{2+}$  преобладают. Содержание гумуса в горизонте  $A_1$  в среднем составляет 5,1 %, а в морозобойной трещине – 2,4 %.

### Глава 4. Гумус мерзлотных почв

В мерзлотных почвах для растительных остатков, как источника почвенного гумуса, свойственно значительное содержание лигниноцеллюлозных соединений и широкие показатели C:N, что снижает интенсивность трансформации органического вещества.

Содержание гумуса в лугово-черноземных мерзлотных почвах среднее – 7,2 %. При сравнении содержания гумуса в образцах из морозобойной трещины и образцах, взятых с той же глубины из вмещающего горизонта, выявлено, что в трещинах общее количество гумуса выше. Например, в разрезе 1 на глубине

16-40 см в образце, взятом вне трещины, содержание гумуса 1,9 %, а в трещине – 2,4 %. В разрезе 2 этот показатель составляет соответственно 0,8 и 2,2 % , а в разрезе 3 – 2,6 и 4,2 %, что указывает на накопление гумусовых веществ в морозобойных трещинах. Запасы гумуса в почвах достигают значительной величины, так в слое почвы 0-20 см - 250 т/га, в слое 0-50 см – 300 т/га (Чимитдоржиева, 1990). Величина C:N, служащая показателем обогащенности гумуса азотом и косвенно указывающая на степень гумификации органического вещества, составляет для верхних горизонтов 4,4-4,9 и характеризуется по градации (Орлов и др., 2004) как очень высокая. Запасы азота в слое почвы 0-20 см составили в среднем 15,6 т/га.

Тип гумуса в гумусовом горизонте лугово-черноземной мерзлотной почвы изменяется от фульватно-гуматного до гуматного. Анализ статистической обработки данных фракционного состава гумуса выявил устойчивое преобладание фракции ГК-2 в гумусовых горизонтах и морозобойных трещинах при равномерном распределении других фракций (рис. 1). В морозобойных трещинах содержание гуматов кальция увеличивается с 18,7 до 32,1 % от Собщ, что приводит к возрастанию степени гумификации и изменению величины соотношения Сгк:Сфк от 1,75 до 1,92 %. Аналогично поведение связанных с ГК-2 фульватов кальция, возрастающих в гумусовых затеках от 5,3 до 12,3 %. В то же время содержание первой фракции ГК и ФК в затеках несколько снижается. Следовательно, накопление гуматов и фульватов кальция в морозобойных трещинах, возможно, связано с частичным закреплением первой подвижной фракции. В гумусе лугово-черноземных мерзлотных почв высоко содержание негидролизуемого остатка, достигающего в среднем 44 % в гумусовом горизонте и 33 % в затеках, что обусловлено невысокой биохимической активностью и составом растительных остатков.

Содержание гумуса в верхнем горизонте **дерново-подзолистых мерзлотных почв** классифицируется как ниже среднего и составляет в среднем 4,9 %. Запасы гумуса в слое почвы 0-20 см низкие – 62,6 т/га, азота – 6,2 т/га. Величина C:N, равная в верхнем горизонте 10,3, оценивается по градации как средняя. Сравнивая содержание гумуса в затеках и почве с той же глубины вмещающего горизонта, выявлено, что в первых общее количество



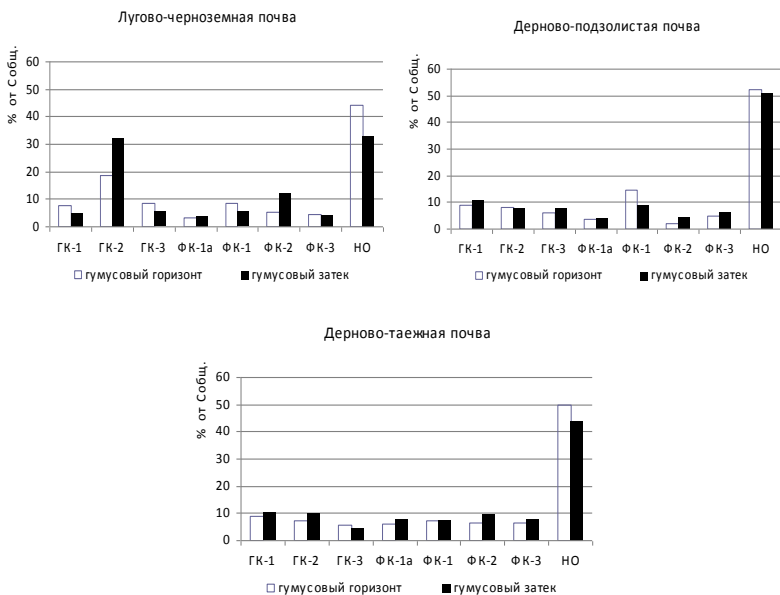


Рис. 1. Распределение углерода по фракциям гумусовых веществ в мерзлотных почвах, % от  $C_{\text{общ}}$

гумуса выше, что также указывает на накопление гумуса в морозобойных трещинах.

Тип гумуса в гумусовом горизонте дерново-подзолистых почв гуматно-фульватный, в морозобойных трещинах становится фульватно-гуматным за счет повышения степени гумификации органического вещества.

Из усредненных данных по фракционному составу гумуса дерново-подзолистых мерзлотных почв следует, что в гумусовом горизонте все фракции гуминовых кислот представлены равномерно. В морозобойных трещинах содержание ГК-1 и ГК-3 увеличивается. Среди фракций фульвокислот в гумусовом горизонте доминирует первая подвижная фракция, которая несколько снижается в затеках, а доля всех остальных возрастает. Первая фракция, как более подвижная и реакционноспособная, по-видимому, переходит в другие. Содержание негидролизуемого остатка высокое, в среднем достигает 52 %.

Содержание гумуса в горизонте  $A_1$  дерново-таежных мерзлотных почв в среднем равно 5,1 %. Запасы гумуса низкие и

в слое почвы 0-20 см составляют 56,1 т/га, а азота – 4,1. Степень гумификации средняя – 22 %. Величина C:N равна 17, что характеризует очень низкую обогащенность гумуса азотом.

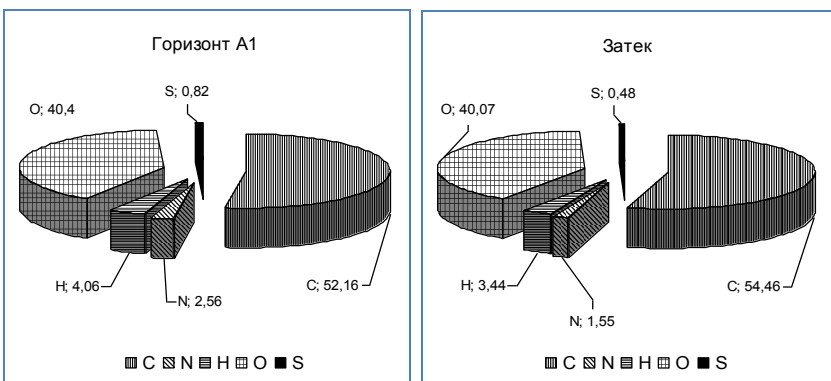
Отношение C<sub>гк</sub>:C<sub>фк</sub> равно 0,7, т. е. тип гумуса фульватный. В групповом составе гумуса фульвокислоты преобладают над гуминовыми. В составе гуминовых кислот гумусового горизонта доминируют фракции ГК-1 и ГК-2, содержание которых увеличивается в морозобойных трещинах. Фракционный состав фульвокислот представлен равномерно. В затеках количество всех фракций ФК, кроме первой, возрастает.

Таким образом, в морозобойных трещинах мерзлотных почв количество гумуса выше, чем во вмещающих горизонтах, что указывает на накопление в них гумусовых веществ: в лугово-черноземных мерзлотных почвах наиболее аккумулируются ГК-2, дерново-подзолистых – ГК-1 и ГК-3, а в дерново-таежных – ГК-1 и ГК-2. Во всех типах почв по мере накопления гуминовых кислот нарастают степень и глубина гумификации органического вещества. В затеках лесных почв содержание всех фракций фульвокислот, кроме первой, увеличивается. Как самая подвижная, она частично переходит в другие фракции. В составе гумуса мерзлотных почв высока доля нерастворимого остатка.

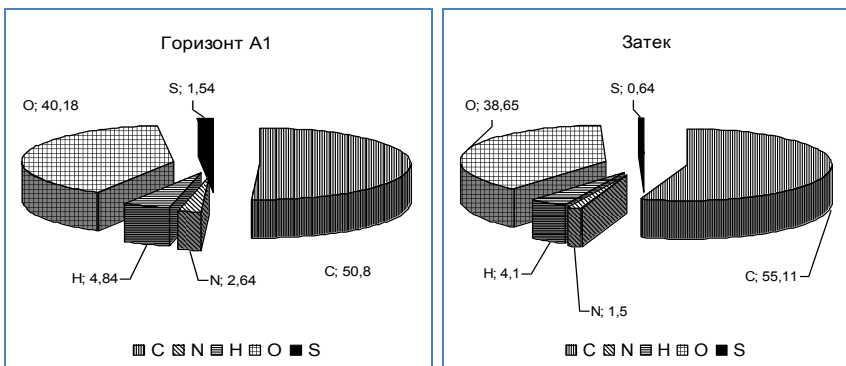
## **Глава 5. Характеристика гуминовых и фульвокислот**

Гумусовые кислоты определяют плодородие почвы, устойчивость к антропогенным воздействиям, ее протекторные и экологические функции (Орлов, 1974), поэтому исследование их свойств представляет предмет особого интереса. Одна из важнейших и устойчивых идентификационных характеристик гумусовых кислот – это элементный состав (рис. 2), который позволяет получить определенные представления о принципах их строения.

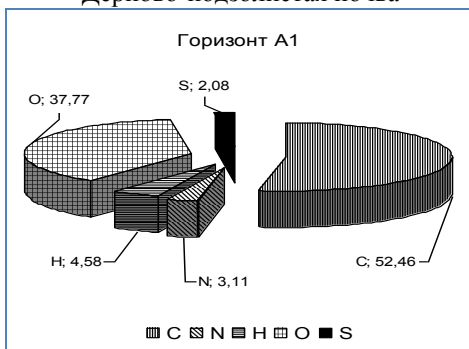
Содержание углерода в ГК лугово-черноземных (52,2 %) и дерново-таежных почв (52,5 %) выше, чем в ГК дерново-подзолистых почв (50,8 %). По данным разных авторов (Базилевич, 1965; Убогов, Комиссаров, 1974; Бильдебеева, 1977; Кленов, 2000), эта величина в аналогичных почвах Западной Сибири и Казахстана составляет 54,8-60,4 %, т. е. количество углерода в ГК мерзлотных почв ниже. Большой запас холода в почвах вносит значительные коррективы в молекулярную структуру гуминовых кислот.



Лугово-черноземная почва



Дерново-подзолистая почва



Дерново-таежная почва

Рис. 2. Элементный состав ГК мерзлотных почв, % на сухое беззольное вещество

В исследуемых ГК мерзлотных почв содержание азота также снижено до 1,5-3,1 %. Содержание водорода находится на уровне 3,4-4,8 %. Количество серы в гуминовых кислотах дерново-таежных и дерново-подзолистых почв выше, по сравнению с лугово-черноземными, что, по-видимому, связано с ботаническим и химическим составом растительных остатков и зависит от почвенно-экологических условий, и в частности, от уровня влагообеспеченности.

При выражении элементного состава в атомных процентах (табл. 1) выявляется высокий вклад водорода в построение молекул гуминовых кислот, свидетельствующий о преобладании боковых алифатических цепей (Кленов, 1985; Орлов, 1990). Более высокое значение Н:С в гуминовых кислотах лесных почв, по сравнению с ГК лесостепных, указывает на меньшую степень конденсированности первых, что согласуется с общей теорией гумификации (Орлов, 1990).

При сравнении препаратов ГК из гумусового горизонта и морозобойных трещин всех типов исследуемых мерзлотных почв выявлено, что первые содержат меньше углерода и больше азота.

Таблица 1. Элементный состав ГК мерзлотных почв, ат. %

Вариант	Содержание					Атомные отношения			Степень окисленности	Степень бензоидности
	С	Н	N	О	S	Н:С	О:С	С:N		
ГКI-а*	39	36	2	22,7	0,3	0,93	0,58	19,5	+0,23	0,19
ГКI-б	43	32	1	23,9	0,1	0,75	0,55	43,0	+0,35	0,31
ГКII-а	36	41	2	20,6	0,4	1,13	0,59	18,0	+0,05	0,05
ГКII-б	41	36	1	21,8	0,2	0,88	0,53	41,0	+0,17	0,25
ГКIII	38	40	2	20,5	0,5	1,04	0,54	19,0	+0,04	0,14

Примечание: \* ГКI – лугово-черноземная почва (а – горизонт А<sub>1</sub>, б – затек); ГКII – дерново-подзолистая почва (а – горизонт А<sub>1</sub>, б – затек); ГКIII – дерново-таежная почва, горизонт А<sub>1</sub>.

Если в гумусовых горизонтах лугово-черноземных и дерново-подзолистых почв количество углерода составляло 52,2 и 50,8 %, то соответственно в трещинах - 54,5 и 55,1 %, что указывает на большую карбонизованность последних. По обогащенности азотом ГК гумусовых горизонтов разных типов почв имеют сходные величины (С:N = 18-19). А в ГК из морозобойных трещин значения этого показателя возрастают до 41-43, что соответствует очень

низкому содержанию азота. Следовательно, ГК гумусовых горизонтов мерзлотных почв обогащены азотом, по сравнению с ГК гумусовых затеков, что может свидетельствовать о большем содержании аминокислотных и пептидных остатков в алифатической части молекулы первых ГК.

Накопление серы в гуминовых кислотах изучаемых почв имеет сходный характер и пропорционально содержанию алифатических фрагментов в составе молекулы. В процессе гумификации часть органической серы входит в состав гидролизуемой части гуминовых веществ (Безуглова, Орлов, 2000). Вероятно, этим объясняется тот факт, что в ГК из гумусового горизонта почв содержание серы вдвое выше, по сравнению с ГК из морозобойных трещин.

Исследуемые препараты характеризуются высокой степенью окисленности, особенно ГК из морозобойных трещин, хотя на эту величину могло повлиять присутствие других неопределяемых нами элементов. Отщепление алифатической части ГК затеков одновременно сопровождается окислением, что приводит к возрастанию количества карбоксильных групп (содержание которых приведено далее). Как правило, наиболее конденсированные ГК более окислены (Орлов, 1990).

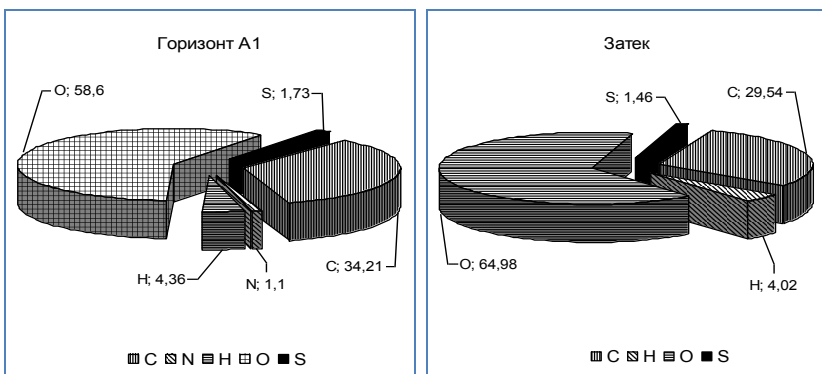
Узкое отношение Н:С и высокая степень бензоидности гуминовых кислот из морозобойных трещин свидетельствует об их большей конденсированности и обогащенности ароматическими фрагментами по сравнению с ГК гумусового горизонта. Это может быть связано с тем, что в морозобойных трещинах промораживание сопровождается образованием линз льда. Исследованиями И.Б. Арчевой (1985) установлено, что при вымораживании воды происходит отщепление соединений, наименее прочно связанных в молекулах ГК, с усилением ароматизации остающейся части молекул. Кроме того, с глубиной ограничено поступление свежего органического материала, что препятствует обновлению гумусовых веществ. Со временем под влиянием биохимических процессов происходит постепенное отщепление алифатических цепей, что способствует накоплению устойчивых конденсированных ароматических структур. Таким образом, проявляется аналогия свойств ГК из морозобойных трещин с гуминовыми кислотами погребенных гумусовых горизонтов (Кленов, Корсунова, 1976; Кленов, 2000; Чуков, 2001).

Фульвокислоты существенно отличаются от гуминовых кислот по элементному составу: они содержат меньше углерода, такое же количество водорода и большее – кислорода.

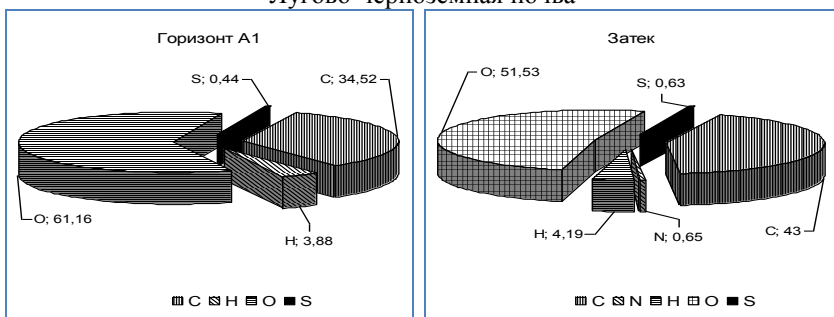
При сравнении элементного состава ФК трех типов мерзлотных почв наблюдается повышение содержания углерода в ряду лугово-черноземные – дерново-подзолистые – дерново-таежные почвы (рис. 3). Пониженную обуглероженность фульвокислот лугово-черноземных почв и повышенную – дерново-подзолистых и дерново-таежных почв можно объяснить различной интенсивностью биохимических процессов (Орлов, 1990). Лугово-черноземные мерзлотные почвы характеризуются более высокой биохимической активностью, при которой расщеплению подвергаются не только алифатические части молекул гуминовых кислот, но и фульвокислоты. В результате доля фульвокислот в составе гумуса снижается, и фульвокислоты оказываются представленными наиболее молодыми и наименее обуглероженными формами. При пониженной биохимической активности в таежных почвах создаются благоприятные условия для образования и накопления в больших количествах более сложных форм фульвокислот.

Элементный состав ФК достаточно четко коррелирует (в обратной связи) с относительным содержанием гуминовых кислот (Александрова, 1980) и, по-видимому, зависит от особенностей функционирования системы гумусовых веществ в разных типах почв. Поскольку в почве гуминовые и фульвокислоты составляют единое целое, а при выделении препаратов происходит гидролиз ГК с отщеплением легкогидролизуемых компонентов, таких как фульвокислоты, то состав полученных соединений взаимосвязан. Более широкие значения отношений Н:С в фульвокислотах, по сравнению с гуминовыми кислотами, свидетельствуют о более рыхлом строении молекул ФК, со значительным преобладанием алифатических структур (табл. 2).

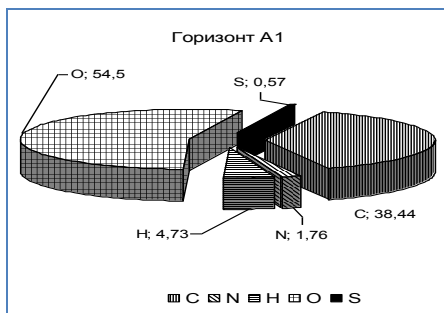
При исследовании элементного состава выявлено, что для ФК из морозобойных трещин дерново-подзолистых мерзлотных почв характерно увеличение количества атомов углерода. В профиле лугово-черноземных почв наблюдается обратная тенденция. Фульвокислоты морозобойных трещин лугово-черноземных почв имеют наибольшую величину Н:С (1,65), что соответствует наиболее простым и наименее обуглероженным формам. Сужение



Лугово-черноземная почва



Дерново-подзолистая почва



Дерново-таежная почва

Рис. 3. Элементный состав ФК мерзлотных почв, % на сухое беззольное вещество

Таблица 2. Элементный состав ФК мерзлотных почв, ат. %

Вариант	Содержание					Атомные отношения			Степень окисленности
	С	Н	N	О	S	Н:С	О:С	С:N	
ФКI-а*	26	40	1	32,5	0,5	1,54	1,25	26,0	+0,96
ФКI-б	23	38	-	38,5	0,5	1,65	1,67	-	+1,69
ФКII-а	27	37	-	35,9	0,1	1,37	1,33	-	+1,29
ФКII-б	32	38	1	28,8	0,2	1,15	0,90	32,0	+0,61
ФКIII	28	41	1	29,8	0,2	1,46	1,06	28,0	+0,67

Примечание: \* ФКI – лугово-черноземная почва (а – горизонт A<sub>1</sub>, б – затек); ФКII – дерново-подзолистая почва (а – горизонт A<sub>1</sub>, б – затек); ФКIII – дерново-таежная почва, горизонт A<sub>1</sub>.

величины Н:С в фульвокислотах из трещин дерново-подзолистых почв указывает на усложнение строения молекул.

В связи с повышенным содержанием кислорода степень окисленности ФК высокая, и существенно различается в зависимости от типа почв. Для ФКI-б характерна наибольшая степень окисленности (+1,69) и пониженное содержание углерода по сравнению с другими препаратами. ФКII-б – наименее окислены и наиболее обуглерожены (табл. 2).

Выявлено, что в морозобойных трещинах дерново-подзолистых мерзлотных почв накапливаются фракции фульвокислот более обуглероженные и менее окисленные, а в лугово-черноземных мерзлотных почвах по трещине мигрируют менее обуглероженные и более окисленные ФК. Более простое строение ФК из затеков лесостепных почв объясняется высокой конденсированностью и слабой гидролизуемостью гуминовых кислот. ГК лесных почв расщепляются в большей степени, поэтому ФК более обуглерожены и карбоксилированы, т. е. характеризуются более сложным строением.

Исследование набора и количества **функциональных групп**, а также **электронных спектров поглощения** дает представление о физико-химических свойствах гумусовых кислот. Функциональные группы обуславливают важное свойство гумусовых кислот – их реакционную способность. Общее содержание кислых функциональных групп в ГК лугово-черноземных, дерново-подзолистых и дерново-таежных почв составляет соответственно 685, 629 и 627 мг-экв/100 г препарата (табл. 3). В морозобойных



Таблица 3. Содержание кислых функциональных групп в ГК мерзлотных почв

Вариант	COOH	ОН	Сумма
	мг-экв/100 г		
ГКИ-а	501	184	685
ГКИ-б	568	180	748
ГКП-а	241	388	629
ГКП-б	443	383	826
ГКШ-а	348	279	627

трещинах их количество увеличивается до 748-826 мг-экв/100 г. Полученные результаты коррелируют с высокой степенью окисленности. Содержание карбоксильных групп или емкость поглощения ГК гумусового горизонта лугово-черноземных почв составляет 501 мг-экв/100 г препарата, ГК затека – 568. В ГК лесных почв эта величина меньше и колеблется в пределах от 241 до 443 мг-экв/100 г почвы.

Гидроксильные группы в вышеуказанных препаратах содержатся в количестве 279-388 мг-экв/100 г, причем в ГК гумусового горизонта дерново-подзолистых почв гидроксильные группы преобладают, что объясняется разнообразным сочетанием окислительных и восстановительных процессов в почвах различных комплексов (Кленов, 2000).

Данные анализа функциональных групп свидетельствуют о том, что степень реакционной способности и адсорбционных свойств ГК исследуемых почв высока. Причем ГК из морозобойных трещин обладают большей емкостью поглощения, по сравнению с ГК гумусового горизонта. Наиболее обуглероженные ГК содержат больше карбоксильных групп.

Фульвокислоты, выделенные из гумусовых горизонтов мерзлотных почв, по содержанию COOH-групп образуют следующий убывающий ряд: дерново-таежные (259 мг-экв/100г), лугово-черноземные (234 мг-экв/100г) и дерново-подзолистые почвы (79 мг-экв/100г) (табл. 4). В морозобойных трещинах дерново-подзолистых почв емкость поглощения ФК значительно выше, чем в лугово-черноземных почвах. Кроме того, в дерново-подзолистых почвах возрастает сумма кислых групп ФК из затека.

Таблица 4. Содержание кислых функциональных групп в ФК мерзлотных почв

Вариант	СООН	ОН	Сумма
	мг-экв/100 г		
ФКI-а	234	-	-
ФКI-б	198	-	-
ФКII-а	79	369	448
ФКII-б	457	245	702
ФКIII	259	-	-

В целом, содержание кислых функциональных групп в препаратах фульвокислот понижено. Причиной этого может быть блокирование части кислых групп прочносвязанными зольными элементами, что понижает обменную способность ФК.

Оптическая плотность определяется химическим строением гумусовых кислот. Она прямо пропорциональна содержанию в них сопряженных двойных углеродных связей, т. е. зависит от степени конденсированности молекул и обогащенности углеродом. По данным электронных спектров поглощения щелочных растворов препаратов (рис. 4) рассчитаны коэффициенты экстинкции при длинах волн 465 и 650 нм ( $E_{465}$  и  $E_{650}$ ).

Значения  $E$ -величин при 465 нм в пересчете на беззольную навеску составляют 0,063 в препаратах ГК I-а, 0,062 – ГК II-а и 0,056 – ГК III-а (табл. 5). ГК из морозобойных трещин характеризуются более высокими коэффициентами экстинкции (0,093), что указывает на их большую конденсированность.

Таким образом, обнаруженные различия значений  $E_{465}$  для ГК из гумусового горизонта и морозобойных трещин позволили подтвердить более сложное строение макромолекул ГК из морозобойных трещин мерзлотных почв.

Фульвокислоты лесных почв оптически более плотные, по сравнению с ФК лугово-черноземных мерзлотных почв. Причем оптическая плотность ФК затека дерново-подзолистых почв возрастает, по сравнению с гумусовым горизонтом. В морозобойных трещинах лугово-черноземных почв, напротив, оптическая плотность ФК уменьшается, что подтверждает более простое строение ФК этих почв, выявленное при анализе элементного состава.

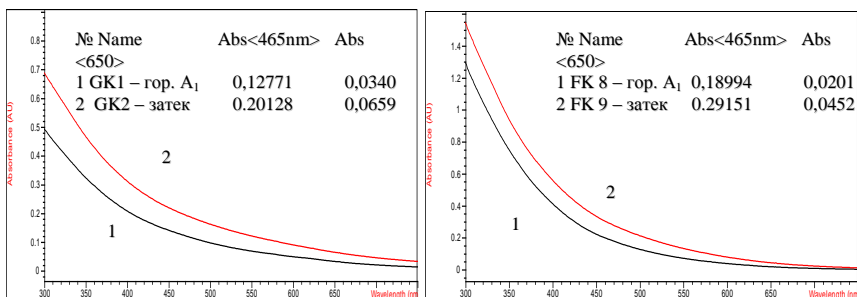


Рис. 4. Электронные спектры поглощения гумусовых кислот дерново-подзолистых мерзлотных почв

Таблица 5. Оптические характеристики препаратов ГК и ФК мерзлотных почв

Вариант	$E_{465\text{nm}}^{0,001\%}$	$E_{650}^{0,001\%}$	$E_{465}:E_{650}$
ГК I-а	0,063	0,017	3,7
ГК I-б	0,093	0,029	3,2
ГК II-а	0,062	0,016	3,9
ГК II-б	0,093	0,031	3,0
ГК III	0,056	0,015	3,7
ФК I-а	0,010	0,001	10,0
ФК I-б	0,008	0,0007	11,4
ФК II-а	0,020	0,002	10,0
ФК II-б	0,034	0,0055	6,2
ФК III	0,024	0,0035	6,9

Две основные группы гумусовых кислот – ГК и ФК – различаются по величине коэффициента цветности ( $E_{465}:E_{650}$ ). Эта величина в ФК изучаемых мерзлотных почв варьирует от 6,2 до 11,4, что указывает на значительно меньшие размеры их молекул по сравнению с ГК (Кленов, 2000). Результаты электронной спектроскопии хорошо согласуются с данными элементного состава гумусовых кислот.

## ВЫВОДЫ

1. Мерзлотные лугово-черноземные, дерново-подзолистые и дерново-таежные почвы Витимского плоскогорья характеризуются наличием морозобойных трещин, в которых содержание гумуса выше, чем во вмещающих горизонтах почв, что определяет профильное перераспределение и консервацию органического вещества.
2. В морозобойных трещинах мерзлотных почв происходит повышение степени и глубины гумификации органического вещества, обусловленное накоплением разных фракций гуминовых кислот: в лугово-черноземных почвах – ГК-2, дерново-подзолистых – ГК-1 и ГК-3, дерново-таежных – ГК-1 и ГК-2.
3. Гуминовые кислоты лугово-черноземных мерзлотных почв обогащены бензойными фрагментами, по сравнению с ГК лесных почв, что согласуется с общей теорией гумификации.
4. В криогенных трещинах мерзлотных почв, в условиях интенсивного промораживания и ограниченного поступления свежего органического материала, происходит трансформация макромолекул ГК с возрастанием обуглероженности, коэффициентов экстинкции и снижением содержания азота, что свидетельствует об относительно большей конденсированности гуминовых кислот.
5. Степень реакционной способности и адсорбционных свойств ГК мерзлотных почв высока вследствие значительного количества кислых функциональных групп, причем в морозобойных трещинах емкость поглощения гуминовых кислот возрастает.
6. Фульвокислоты лесных почв характеризуются повышенным содержанием углерода и большей оптической плотностью по сравнению с ФК лугово-черноземных мерзлотных почв, обусловленное различным уровнем биохимической активности почв.
7. Фульвокислоты из гумусового горизонта и морозобойных трещин мерзлотных почв отличаются по составу и свойствам. Простое строение ФК из гумусовых затеков лугово-черноземных мерзлотных почв определяется высокой конденсированностью и устойчивостью ГК почв степного ряда. Гуминовые кислоты лесных почв менее устойчивы и

расщепляются в большей степени, что обуславливает большую обуглероженность и карбоксилированность ФК затеков дерново-подзолистых мерзлотных почв.

8. Аккумуляция и закрепление гумуса в криогенных трещинах мерзлотных почв в виде более устойчивых и малоподвижных соединений способствует экологической устойчивости и сохранению гумусного фонда почв криолитозоны Забайкалья.

### Список работ по теме диссертации

1. **Балданова А.Н.**, Нимбуева А.З., Вишнякова О.В., Корсунова Ц.Ц-Д. Растительные остатки и каталазная активность в мерзлотных почвах // Тез. Всерос. конф. с международным участием «Биоразнообразие экосистем Внутренней Азии». Улан-Удэ, 2006. С. 20.

2. **Балданова А.Н.**, Вишнякова О.В. Особенности гумусообразования в мерзлотных почвах // Мат. VI Межрегион. науч.-практ. конф. молодых ученых «Научный и инновационный потенциал Байкальского региона». Улан-Удэ, 2006. С. 68.

3. **Балданова А.Н.** Особенности состава гумусообразователей мерзлотных почв // Тез. Междунар. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов – 2006». Москва, 2007. С. 8-10.

4. **Балданова А.Н.**, Вишнякова О.В. Особенности состава гумуса в почвах криолитозоны // Мат. Всерос. конф. молодых ученых «Экология в современном мире: взгляд научной молодежи». Улан-Удэ, 2007. С. 132-134.

4. **Балданова А.Н.**, Вишнякова О.В. Состав гумуса мерзлотных почв Забайкалья // Аграрная наука – сельскому хозяйству: сборник статей. В 3 кн. 644 с. / II Междунар. науч.-практ. конф. Барнаул: Изд-во АГАУ, 2007. Кн. 1. С. 76-78.

6. **Балданова А.Н.**, Вишнякова О.В. Гумус в криогенных почвах Забайкалья // Мат. Междунар. науч. конф. «Пространственно-временная организация почвенного покрова: теоретические и практические аспекты». Санкт-Петербург, 2007. С. 23.

7. **Балданова А.Н.**, Вишнякова О.В. Гумус дерново-подзолистых мерзлотных почв юга Витимского плоскогорья //

Труды V Всерос. съезда общества почвоведов. Ростов-на-Дону, 2008. С. 259.

8. **Балданова А.Н.**, Чимитдоржиева Г.Д., Вишнякова О.В. Гумус в морозобойных трещинах лугово-черноземных мерзлотных почв // Вестник БГСХА. - 2008. № 2. С. 36-39.

9. **Балданова А.Н.**, Вишнякова О.В., Чимитдоржиева Г.Д. Качественный состав гумусообразователей на лугово-черноземных мерзлотных почвах Забайкалья. // Плодородие. 2008. № 6. С. 43.

10. **Балданова А.Н.**, Чимитдоржиева Г.Д., Вишнякова О.В. Гумус дерново-подзолистых мерзлотных почв Витимского плоскогорья // Вестник БГСХА. 2008. № 3. С. 33-37.