

*На правах рукописи*



МИЛЬХЕЕВ Евгений Юрьевич

**ГУМУС И ГУМИНОВЫЕ КИСЛОТЫ ДЕРНОВЫХ  
ЛЕСНЫХ И ЛУГОВЫХ ПОЧВ ДЕЛЬТЫ Р. СЕЛЕНГИ**

**Специальность 03.00.27 – почвоведение**

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук

Улан-Удэ  
2006

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

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

**Официальные оппоненты:** доктор биологических наук  
**М.Г. Меркушева**  
кандидат биологических наук  
**Ч.Д. Митупов**

**Ведущая организация:** ФГОУ ВПО «Бурятская  
государственная  
сельскохозяйственная академия  
им. В.Р. Филиппова»

Защита состоится **31** марта 2006 г. в **14** 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:  
[evg-milh@rambler.ru](mailto:evg-milh@rambler.ru)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Бурятского  
научного центра СО РАН.

Автореферат разослан **28** февраля 2006 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
доктор биологических наук



В.И. Убугунова

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность.** В последние годы возрос интерес к изучению почв долины р. Селенги, особенно ее дельтовой части. Это связано с включением оз. Байкал в Участок мирового природного наследия и с сильной экологической напряженностью в его бассейне. В связи с этим возникает необходимость детального изучения почвенного покрова дельты, т.к. он выполняет роль геохимического барьера, где устойчивое его функционирование зависит от содержания гумуса, а также специфических гумусовых веществ – гуминовых кислот. В сложившейся ситуации изучение состава гумуса и гуминовых кислот как основы устойчивости экосистемы Байкала является актуальной задачей.

**Цель работы** – изучить состав гумуса, структуру гуминовых кислот и степень биологической активности дерновых лесных и луговых почв дельтовой части р. Селенги.

### **Задачи исследований:**

1. Изучить основные свойства и степень биологической активности дерновых лесных и луговых почв.
2. Определить состав гумуса дерновых лесных и луговых почв.
3. Получить препараты гуминовых кислот (ГК), выявить их химическую структуру.
4. Изучить трансформацию органического вещества почв при компостировании растительного опада.

**Научная новизна.** Впервые выявлены особенности состава гумуса и структуры гуминовых кислот дерновых лесных и луговых почв, которые занимают определенную и значимую часть почвенного покрова дельтовой части р. Селенги. Определены факторы, влияющие на биологическую активность этих почв и трансформацию органического вещества при компостировании растительного опада.

**Теоретическая и практическая значимость.** Данные по составу гумуса, структуре гуминовых кислот, а также биологической активности служат основой оценки устойчивости почв к нагрузкам и могут быть использованы для практических рекомендаций по рациональному использованию почв в дельте р. Селенги.

### **Защищаемые положения:**

1. Дерновые лесные типичные почвы среднегумусны с фульватно-гуматным характером, макромолекула ГК представлена устойчивым углеродом ароматической структуры; дерновые лесные боровые – низкогумусны с гуматно-фульватным типом гумуса.
2. Луговые солончаковые почвы высокогумусны с фульватно-гуматным типом, молекула ГК отличается малоконденсированной ароматической природой и развитой алифатической частью.
3. Биологическая активность дерновых лесных и луговых почв низка, что обусловлено воздействием средообразующих факторов.

**Апробация работы.** Результаты исследований, представленные в диссертационной работе, докладывались и обсуждались на X – Международной

конференции студентов и аспирантов «Ломоносов-2003» (г. Москва, 2003); IX съезде Докучаевского общества почвоведов «Почвы национальное достояние России» (г. Новосибирск, 2004); Международной конференции «Научные основы сохранения водосборных бассейнов: междисциплинарные подходы к управлению природными ресурсами» (г. Улан-Удэ, 2004); Международной конференции студентов и молодых ученых «Экология Южной Сибири» (Абакан, 2005).

*Публикации.* По теме диссертации опубликовано 6 работ.

*Объем и структура работы.* Диссертация изложена на 132 страницах компьютерного текста, состоит из введения, 7 глав, выводов, списка литературы, включающего 215 наименований, в том числе 13 на иностранном языке. Содержит 15 таблиц, 21 рисунок.

*Личный вклад автора.* Диссертационная работа является обобщением личных материалов, собранных в результате полевых исследований 2002-2005 гг. в соответствии с междисциплинарным интеграционным проектом № 99 СО РАН – «Анализ и моделирование трансформации вещества в системе "Река Селенга – дельта - озеро Байкал"» в Институте общей и экспериментальной биологии СО РАН.

Автор выражает искреннюю признательность и благодарность научному руководителю, д.с.-х.н., проф. Г.Д. Чимиторжиевой за консультации, критические замечания при подготовке диссертации, а также коллективу лаборатории органического вещества почв ИОЭБ СО РАН за помощь в выполнении работы на разных этапах.

## Глава 1. Природные условия

В главе дана характеристика основных факторов почвообразования дельты р. Селенги: рельефа, почвообразующих пород, климата и растительности.

## Глава 2. Объекты и методы исследований

Объектами исследований послужили 2 типа почв – дерновые лесные типичные под естественным смешанным лесом, дерновые лесные боровые под лесополосой и луговые солончаковатые под сенокосом, также препараты гуминовых кислот (ГК), выделенные из дерновых лесных типичных и луговых солончаковатых почв.

Основные физико-химические показатели почв определены общепринятыми в почвоведении и агрохимии методами (Аринушкина, 1970; Агрохимические методы..., 1975); содержание органического углерода – методом Тюрина, в модификации Никитина; водорастворимый гумус – по Дьяконовой (1984); азот общий – по Къельдалю; групповой и фракционный состав гумуса – по Пономаревой - Плотниковой. Показатели гумусного состояния даны по Д.С. Орлову и др. (2004).

Учет надземной и корневой массы в слое 0-20 см произведен по Панковой (1975), биохимический состав фитомассы – по Ермакову (1958). Полученные

данные обработаны методами математической статистики (Доспехов, 1979).

Микробиологические исследования проводились по общепринятым методам (Звягинцев и др., 1980). Для выделения, качественного и количественного учета микроорганизмов в почве использовали следующие питательные среды: 1. МПА – для определения общего микробного числа; 2. КАА – для определения актиномицетов; 3. среда Чапека – для грибов.

Определение биологической активности почв проводили аппликационным методом Е.Н. Мишустина и др. (1968) в естественных условиях.

Динамика общего (Сгум) и водорастворимого гумуса (ВГ) при внесении в почву различного растительного опада изучалась при компостировании в лабораторных оптимальных водно-температурных условиях.

Для характеристики гуминовых кислот (ГК) дерновых лесных и луговых почв были выделены препараты ГК исчерпывающим экстрагированием по методике Л.А. Гришиной и Д.С. Орлова (1981). В препаратах ГК исследовали элементный состав на автоматическом элементном анализаторе «CHN – 1106» фирмы Karlo Erba; инфракрасные спектры поглощения в области 4000-500 см<sup>-1</sup> на инфракрасном спектрофотометре «ISF-25»; спектры ядерно-магнитного резонанса <sup>13</sup>C-ЯМР были сняты на спектрометре DRX-500 в Институте органической химии СО РАН г. Новосибирска. Общее содержание кислых функциональных групп определяли по методу А.Ф. Драгуновой (1957), карбоксильных групп по методу Т.А. Кухаренко (1968). Содержание фенольных гидроксилов рассчитывали по разности.

### Глава 3. Основные свойства почв

В главе рассмотрены морфологические, физико-химические свойства и особенности дерновых лесных и луговых почв дельты р. Селенги.

**Дерновые лесные боровые почвы** характеризуются легким гранулометрическим составом, слабощелочной реакцией среды, с низкой суммой поглощенных оснований, малой мощностью гумусового горизонта и очень низким содержанием гумуса.

**Дерновые лесные типичные почвы** характеризуются среднесуглинистым гранулометрическим составом, слабокислой реакцией среды, средним содержанием гумуса. Сумма кальция и магния составляет 25,5 мг/экв на 100 г почвы. Среди поглощенных оснований основная роль принадлежит кальцию.

Занимающие сравнительно оптимальную экологическую нишу **луговые солончаковые почвы** обладают благоприятными физическими свойствами. Хорошее водообеспечение стимулирует развитие травянистой растительности, отсюда почвы высокогумусны. Формирование высокопродуктивных травостоев начинает угнетаться лишь при накоплении в гумусовом горизонте заметного количества легкорастворимых солей (сульфатно-натриевое засоление). В связи с этим луговые солончаковые почвы обладают менее мощным гумусовым горизонтом, с высоким содержанием гумуса, суглинистого гранулометрического состава, щелочной реакции среды, с суммой поглощенных оснований 30,6 мг/экв на 100 г почвы.

## Глава 4. Биологическая активность почв

Специфика формирования дерновых лесных и луговых почв дельты в значительной мере проявляется в их биологической активности, определяемой как по численности микроорганизмов на питательных средах, так и по интенсивности процессов разложения целлюлозы в природных условиях.

Общая численность микроорганизмов в дерновой лесной боровой почве в верхнем 0-20 см слое составила  $4,8 \times 10^6$  КОЕ/г почвы. По сравнению с аналогичными почвами Западной Сибири в них повышено содержание актиномицетов, до 50 % от общей численности микроорганизмов. Активное развитие этой группы микроорганизмов является следствием воздействия экстремальных гидротермических условий и накопления трудноразлагаемого органического материала.

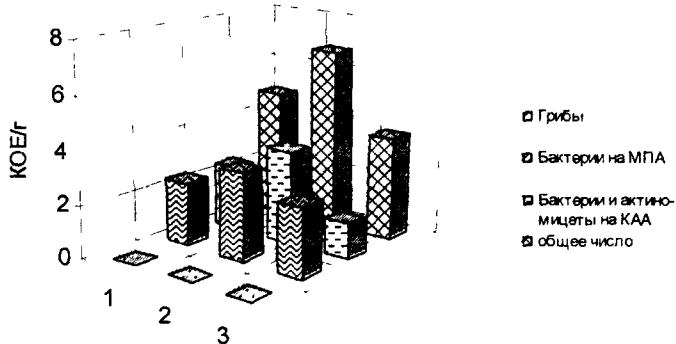


Рис. 1. Структура микробного ценоза почв (слой 0-20 см)  
1-дерновая лесная боровая; 2-дерновая лесная типичная; 3- луговая солончаковая.

Судя по общей низкой численности микроорганизмов, биологическая активность этих почв невелика. Это особенно четко проявляется при анализе показателей биологической активности, определяемых в природных условиях во времени. Так, активность разложения целлюлозы за вегетационный период в среднем составляет 16 % и гидролиз белков - 10 %.

Увеличение общей численности микроорганизмов в типичной дерновой лесной ( $6,8 \times 10^6$  КОЕ/г почвы) по сравнению с боровой почвой усиливает микробиологическую активность. В них повышается активность разложения целлюлозы (32 %) и протеолиз белков (23%). Что является следствием лучшей обеспеченности гумусом и питательными веществами. Все это свидетельствует о том, что микробиологические процессы в дерновых лесных почвах замедлены, что ведет к ухудшению питания растений и неполному разложению растительных остатков.

Формирование микрофлоры луговых солончаковых почв определяется режимом увлажнения и содержанием легкорастворимых солей. Засоление этих почв (сухой остаток в вытяжке из образцов верхней части гумусового горизонта

достигает 0,67 %) отрицательно влияет на развитие микрофлоры и ее биохимическую активность.

Общая численность микроорганизмов в луговых солончаковых почвах составляет –  $3,9 \times 10^6$  КОЕ/г почвы. Актиномицеты занимают до 30 % от общей численности микроорганизмов. Низкая биологическая активность их подтверждается также невысокой целлюлозолитической активностью. Здесь следует отметить, что для луговых почв характерна более плавная динамика микробной деятельности по сравнению с дерновыми лесными. Происходит это, по-видимому, вследствие более благоприятного здесь режима влажности и больших запасов гумуса.

В целом для луговых почв характерна высокая потенциальная способность к осуществлению важнейших биохимических процессов, реализации которых могут способствовать большие запасы гумуса. Эти особенности луговых почв, наряду с другими их физическими и химическими свойствами, должны учитываться при разработке приемов, повышающих продуктивность существующих на них сенокосов и пастбищ.

## Глава 5. Гумус почв

Объем фитомассы, ежегодно поступающей в виде надземного опада и корней (слой 0-20 см), на луговых почвах составил 6 т/га. Наибольшее количество отмечено на дерновых лесных типичных - 7,3, наименьшее на боровых почвах - 5,2 т/га. Если сравнить продуктивность фитомассы с таковой Европейской части России (Кононова, 1963; Базилевич, 1993), то размеры ее невелики. На долю корней в дерновых лесных почвах приходится 68 % от общих запасов фитомассы. Наибольшая концентрация корней отмечается в 0-10 см слое (85 % всей корневой массы). С глубиной их содержание резко падает, и в 40-50 см слое встречается всего лишь 2-3 % корней.

В луговых почвах основные гумусообразователи – корни. Их доля составляет 80 % от общих запасов фитомассы. Наибольшая концентрация корней отмечается в 0-20 см слое, с глубиной их содержание резко падает.

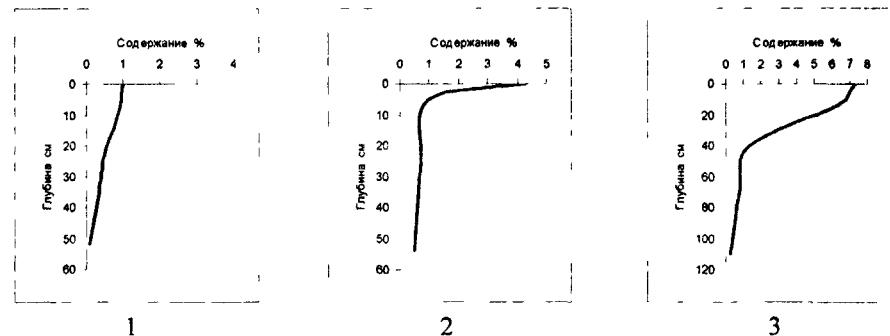


Рис 2 Содержание и распределение гумуса. Почвы:  
1-дерновые лесные боровые; 2-дерновые лесные типичные; 3-луговые солончаковые.

В качественном составе как надземной, так и подземной фитомассы высока доля целлюлозо-лигнинного комплекса, что, несомненно, сказывается на медленном их разложении.

Исследованные дерновые лесные и луговые почвы имеют небольшой по мощности гумусовый горизонт. Они четко разделяются по количеству гумуса: 1,0 % гумуса содержится в дерновых лесных боровых, 4,3 - в типичных и 7,4 % - в луговых почвах (рис. 2).

Запасы гумуса в дерновых лесных боровых почвах очень малы: в слое 0-20 см составляют всего 29; 0-50 - 54,5 и 0-100 - 69,5 т/га (рис. 3). Это связано с их относительно молодым возрастом, незначительным объемом ежегодно поступающей органической массы, обедненностью ее белковыми компонентами.

В групповом составе гумуса количество гуминовых кислот в гор. А<sub>1</sub> дерновых лесных боровых почв уступает фульвокислотам (Сгк:Сфк=0,9), в гор. АВ гумуса всего 0,4 %, тип его гуматно-фульватный. В составе гуминовых кислот дернового слоя значима роль подвижных фракций - ГК-1, что составило 12 % от суммы фракций ГК, а в гумусовом горизонте снижается до 3,8 %. Как и следовало ожидать, здесь низка доля гуматов кальция из-за низкого содержания обменных его форм, прочносвязанных фракций ГК-3 образуется также мало. Из фульвокислот преобладают ФК-1, количество этой группы более заметно в гор Ад, поскольку первичные продукты деструкции лесного опада, надо полагать, агрессивны. Доля же остальных фракций невысокая, и особенно мала доля фракций ФК-3 (3,5 %), в гор. АВ ее содержание несколько повышается - 6,3 %, ФК-1, напротив, в А<sub>1</sub> заметно выше - 9,3 %. Доля нерастворимого остатка в составе гумуса исследуемых почв, в сравнении с типичными ощутимо выше: 54 - 70 % (рис. 4).

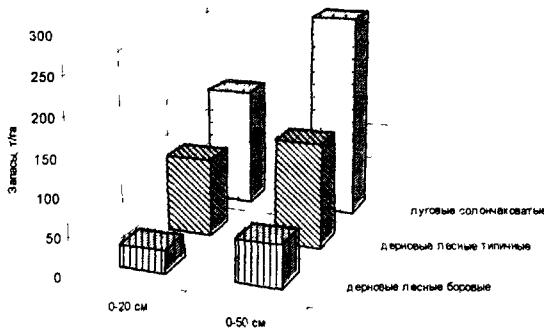


Рис. 3. Запасы гумуса в почвах, т/га

Дерновые лесные боровые почвы характеризуются менее выраженными для этих типов почв признаками и свойствами. Функционирование их происходит в условиях жесткого гидрологического режима, достаточной солнечной инсоляции и низкого объема поступления свежего ежегодного опада, который в основном представлен хвоей, шишками и ветошью сосны,

вследствие чего они низкогумусны с гуматно-фульватным характером.

В дерновых лесных типичных почвах запасы гумуса составили: в слое 0-20 см - 103, 0-50 - 139 и 0-100 - 171 т/га. Анализ группового состава гумуса показал, что в гор. A1 в составе гумуса значительно содержание гуминовых кислот, тип его фульватно-гуматный. Углерод нерастворимого остатка в поверхностном горизонте составляет 46,7 %, с глубиной практически не изменяется. На собственно гумусовые вещества в дерновом слое приходится 53,3 %.

Фракционный состав гумуса исследуемых почв отличается от боровых характером распределения углерода (рис. 4). Это объясняется тем, что в верхних слоях дерновых лесных боровых почв складываются менее благоприятные условия для конденсации и закрепления гуминовых кислот из-за легкого гранулометрического состава и связанных с этим неблагоприятными водно-физическими свойствами, также качественного и количественного состава гумусообразователей. Здесь следует отметить, что фракция, связанная с кальцием, незначительна и составляет в слое 5-10 см всего 2,7 % от суммы фракций ГК, а в нижнем слое возрастает до 5,6. Высока роль подвижных гумусовых кислот ГК-1 - 19,0 и ФК-1 - 8,3 % соответственно от сумм фракций гуминовых и фульвокислот.

Для луговых солончаковых почв характерно высокие содержание и запасы гумуса (рис. 2) в слое 0-20 см соответствуют высокому содержанию (158 т/га), в метровом слое запасы гумуса находятся на среднем уровне (303 т/га).

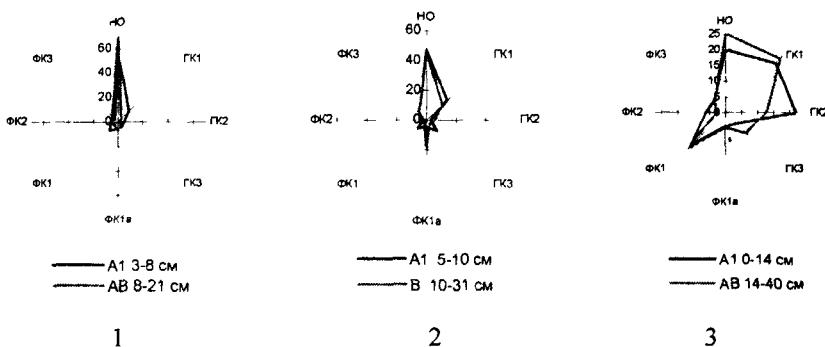


Рис. 4. Фракционный состав гумуса, % от Собщ.

1- дерновые лесные боровые; 2-дерновые лесные типичные; 3-луговые солончаковые.

Отличительным признаком гумуса луговых почв (рис. 4) является высокое содержание подвижных фракций ГК-1 - 22,1, ФК-1 - 14,9 % соответственно от сумм фракций ГК и ФК, обусловленное лучшим обеспечением влагой, а также пептизирующим действием натрия. Тип гумуса фульватно-гуматный. Незначительно количество углерода нерастворимого остатка: в гор. A1 - 20, в АВ - 25%. Не является преобладающей в этих почвах фракция ГК, связанная с кальцием, показатели могли быть значительными вследствие большого

количества обменного кальция, но все же уступают ГК-1, с глубиной это более заметно. Факторами, корректирующими перераспределение фракций внутри ГК, служат господство лугового процесса и солончаковатость, которые, по-видимому, оказывают влияние и на все остальные параметры гумусного состояния. Среди ФК доминирует фракция ФК-1. Как и в дерновых лесных почвах, доля остальных фракций невысока и равномерна распределена.

Луговые солончаковые почвы характеризуются повышенной гумусированностью, что обусловлено формированием их под высокопродуктивными травостоями. Развитие последних нередко тормозится подпиткой грунтовыми водами повышенной минерализации, приводящими к накоплению в профиле токсичных для растений солей, наличием в пределах профиля сезонномерзлотных горизонтов, резко ухудшающих тепловой режим почв. Последние два обстоятельства, по-видимому, ограничивают образование и накопление гуминовых кислот, особенно когда можно было ожидать связывание новообразованных подвижных гуматов обменными основаниями, содержание которых в луговых почвах существенно. Следствием этого является тот факт, что гуматы кальция, хотя и образуются в значительном количестве, однако уступают подвижным фракциям.

## Глава 6. Характеристика гуминовых кислот (ГК)

ГК определяют плодородие почвы, устойчивость к разрушительным воздействиям, ее протекторные и экологические функции (Орлов, 1974). Выделение и исследование физико-химических свойств препаратов ГК дерновых лесных и луговых почв дельты р. Селенги проведено впервые и составляет предмет особого интереса в связи со сложностью их строения и механизма образования.

Элементный состав гумусовых веществ – важнейший диагностический признак при выделении почвенных ГК в особый класс соединений. Он является отражением условий почвообразования и зависит в первую очередь от химического состава разлагающихся растительных остатков и условий гумификации.

Основные сведения об элементном составе ГК почв многих районов России и мира обобщены Д.С. Орловым (1974, 1990), для почв Западной Сибири – Б.М. Кленовым (1976, 1981, 2000) и В.И. Убоговым (1974). В Забайкалье изучены ГК почв: лугово-черноземных мерзлотных (Вишнякова, 1999), каштановых (Цыбикова, 2004), черноземов (Аюрова, 2005).

Данные элементного состава (рис. 5) показывают, что по содержанию основных элементов ГК луговых и дерновых лесных почв отличаются незначительно. Массовая доля углерода в среднем составляет 50,0 % на дерновой лесной и 48,8 % на луговой почвах. По данным разных авторов (Базилевич, 1965; Убогов, 1974; Бильдебаева, 1977; Кленов, 2000), эта величина в аналогичных почвах Западной Сибири составляет 54,5 – 58,6 %, то есть количество углерода в ГК исследуемых почв существенно ниже.

Содержание водорода в препаратах ГК находится на уровне 3,7-3,8 %. На

пониженное содержание азота в ГК (2,4 - в дерновой лесной, 4 % – луговой почвах) по сравнению с ГК других регионов, по-видимому, влияет обедненность азотом первоисточников гумуса. Содержание кислорода несколько повышено.

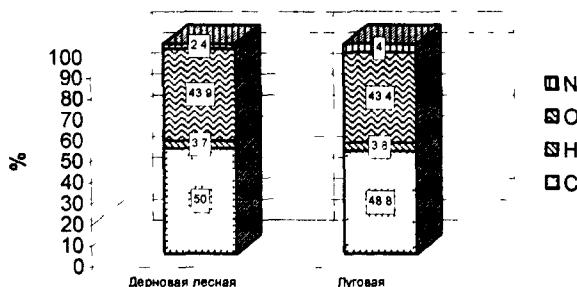


Рис. 5. Элементный состав ГК дерновых лесных и луговых почв (в массовых долях)

Представления о среднем элементном составе ГК существенно изменяются, если его выразить в атомных процентах (табл. 1). При этом отчетливо выявляется особый вклад водорода в построение молекул ГК, что указывает на относительную развитость боковых алифатических цепей. Более высокое значение H:C в ГК луговых почв по сравнению с дерновыми лесными указывает на то, что ГК в первом случае имеет меньшую степень ароматичности, чем во втором.

Элементный состав гуминовых кислот

Таблица 1

Почва	Атомные %				Атомные отношения			Степень окисленности	Степень бензоидности
	C	H	N	O	H/C	O/C	C/N		
Дерновая лесная	38,7	34,1	1,6	25,6	0,88	0,66	24,5	+ 0,44	14
Луговая	37,4	35,0	2,6	25,0	0,94	0,67	14,4	+ 0,40	10

По обогащенности азотом ГК дерновых лесных почв уступают луговым. Содержание кислорода в препаратах повышенено, что, вероятно, связано с тем, что в это количество входят другие неопределяемые элементы гуминовых кислот (сера, фосфор, железо, алюминий, магний и др.)

Гуминовые кислоты характеризуются высокой степенью окисленности (табл. 1). При сравнении степени окисленности ГК исследуемых почв с почвами Западной Сибири (Кленов, 2000) они оказываются более окисленными.

ГК почв характеризуются низкой степенью бензоидности (табл. 1). Эти величины при сравнении с таковыми аналогичных почв других регионов значительно ниже и близки к показателям дерново-подзолистых почв, вероятно,

их сближают более жесткие условия формирования. Показатель степени бензоидности ГК дерновых лесных почв указывает на возрастание роли углерода ароматических структур в молекуле ГК.

Реакционную способность ГК определяют функциональные группы. Содержание их в ГК луговых и дерновых лесных почв составляет соответственно 814 и 490 мг-экв/100 г. Полученные результаты коррелируют с высокой степенью окисленности. Это объясняется в первую очередь спецификой условий гумусообразования, степенью зрелости гуминовых кислот, а также химическим составом исходных растительных сообществ. Содержание карбоксильных групп, или емкость поглощения ГК, составляет 431 и 334 мг-экв/100 г для ГК луговых и дерновых лесных почв соответственно.

Данные анализа функциональных групп свидетельствуют о том, что степень реакционной способности и адсорбционных свойств ГК исследуемых почв высока, что имеет большое экологическое значение в дельтовой части р. Селенги в качестве природного адсорбента загрязнителей, поступающих как воздушным, так и водным путем.

**Инфракрасные спектры поглощения.** Различия в характере ИК-спектров между ГК сводятся в основном к разной интенсивности отдельных полос, по которым можно судить о большем или меньшем преобладании ароматической или алифатической частей в молекулах, оценить долю вклада отдельных группировок в построении молекул и отметить наличие некоторых типов связей (рис. 6). Максимальная интенсивность полос поглощения в спектрах ГК отмечена для гидроксильных, карбонильных и метоксильных групп.

Наличие в ГК исследуемых почв хорошо выраженной полосы в области 1714,6-1716,5  $\text{см}^{-1}$  обусловлено валентными колебаниями карбонилов в карбоксильных группах, а иногда и (-C=O) кетонов и альдегидов. Сильное поглощение в этой области свидетельствует об обогащенности молекулы ГК карбоксильными группами, что согласуется с данными по определению функциональных групп химическими методами.

В спектрах ГК дерновых лесных почв сильнее выражены полосы, обусловленные влиянием C=C связей бензоидных структур, интенсивность этих полос указывает на значительное участие углерода ароматических фрагментов в построении молекул ГК, что согласуется с данными элементного состава и степенью бензоидности ГК.

В алифатической части характерны гидроксильные группы, обнаруженные с максимумом в области 3433-3435  $\text{см}^{-1}$ , свидетельствующие о присутствии гидратированных металлов (Fe, Al), образующих комплексы, за счет которых происходит увеличение содержания гидроксилов.

Присутствие полос поглощения средней интенсивности в области 2935-2856  $\text{см}^{-1}$  присуще валентным колебаниям метильных и метиленовых групп. Однако интенсивнее это поглощение выражено у ГК луговых почв, что свидетельствует о развитости алифатической структуры молекулы.

По совокупности и интенсивности полос поглощения ИК-спектров ГК дерновых лесных и луговых почв имеют некоторую разницу в строении, выражющуюся в смещении пиков, ширине полос поглощения и т.д.

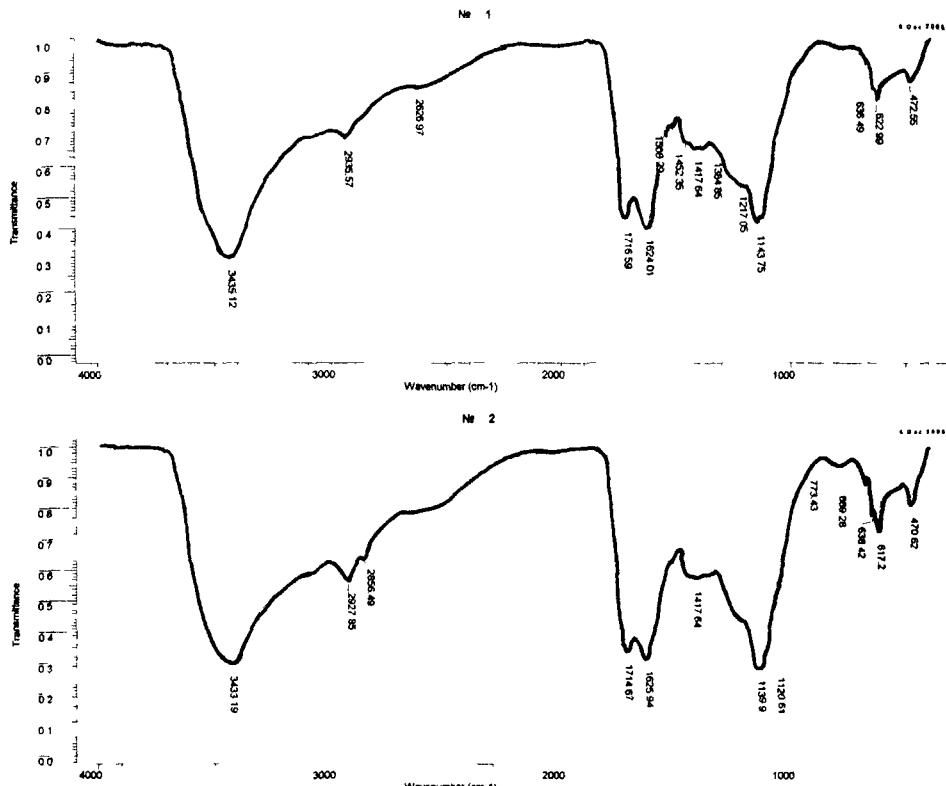


Рис. 6. ИК-спектры гуминовых кислот почв: 1-дерновая лесная, 2-луговая

Более отчетливо выражены в спектре ГК дерновых лесных почв полосы поглощения ароматических структур, тогда как интенсивность полос, вызванная колебаниями атомов алифатических цепей ниже, чем в спектре ГК луговых почв. Это говорит о том, что молекулы ГК дерновых лесных почв более обогащены бензоидными компонентами, чем ГК луговых.

Использование метода  $^{13}\text{C}$ -ЯМР спектроскопии дает возможность охарактеризовать структурные особенности макромолекул ГК. По данным количественного анализа структурных фрагментов молекул ГК выявлена значительная доля атомов углерода ароматических компонентов – 52,4 % в ГК дерновых лесных почв (табл. 2). Присутствие ароматических структур в спектрах ГК почв доказывают широкие и наиболее сильные сигналы в диапазоне 90-160 ppm с пиком при 126,629 ppm (рис. 7).

В диапазоне 45-65 ppm спектра ГК дерновых лесных почв обнаружен довольно сильный сигнал 55,4 ppm, который можно отнести за счет С аминогрупп и O-CH<sub>3</sub> структур (метоксильная группа), количественное содержание которого составляет 8,2 %.

Характерной для сигналов ЯМР ГК луговых почв является меньшая

степень ароматизации, которая фиксируется двумя пиками сигналов углерода при 129 и 118 ppm. Сильные сигналы с высокими пиками отмечаются в области атомов углерода алифатических групп при 29 и 41 ppm

Таблица 2  
Содержание молекулярных фрагментов гуминовых кислот, %

Почва	Химический сдвиг, ppm						$\frac{\Sigma \text{аром}}{\Sigma \text{алиф}}$	Ароматичность, %
	0-45	45-65	65-90	90-160	160-185	185-200		
Дерновая лесная	19,1	8,2	9,9	51,8	10,4	0,6	1,1	52,4
Луговая	28,5	16,9		39,3	13,3	2,0	0,7	41,3

В целом диапазон алифатического углерода в ГК дерновых лесных почв характеризуется меньшей интенсивностью и отсутствием сильных сигналов по сравнению с ГК луговых.

Это свидетельствует о большем участии ароматического углерода в построении макромолекулы ГК дерновых лесных почв. Количественная оценка сигналов в диапазоне 160-185 ppm показывает, что содержание карбоксильного углерода в препаратах ГК луговых почв выше, что соответствует результатам определения функциональных групп химическими методами.

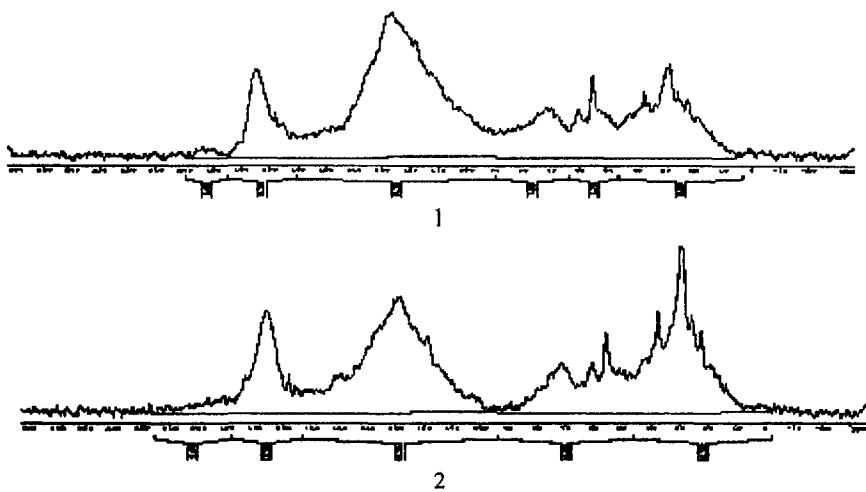


Рис. 7. Спектр  $^{13}\text{C}$ -ЯМР гуминовых кислот почв 1- дерновые лесные, 2-луговые

Соотношение углерода ароматических структур к углероду алифатических цепей выше в препарате ГК дерновых лесных почв, что согласуется со степенью их бензойности и показателем ароматичности (52,4 %).

Таким образом, в спектрах  $^{13}\text{C}$ -ЯМР ГК дерновых лесных почв доминирует

широкий сигнал углерода ароматического ряда, а в ГК луговых - алифатического углерода. Эти данные полностью совпадают с элементным составом, величинами отношения Н/С, а также данными спектров в инфракрасной области.

Преобладание углерода в ароматическом ядре молекулы ГК дерновых лесных типичных почв обусловлено химическим составом гумусообразователей, в частности обедненностью азотом, повышенным содержанием лигнина, который имеет сложный химический состав и циклическое строение, что затрудняет его биохимическое разложение. Поэтому он традиционно рассматривается как один из самых устойчивых компонентов растительных остатков и, в первую очередь, источником ароматических соединений для гумусовых веществ.

В луговых почвах присутствие повышенных количеств водорастворимых солей приводит к образованию гумуса, характеризующегося высокой подвижностью, образованием слабоконденсированных, высокодисперсных и гидрофильных гуминовых кислот с высоким порогом их коагуляции.

## Глава 7. Трансформация органического вещества в дерновой лесной и луговой почвах при компостировании

Важнейшим звеном трансформации органических материалов является минерализация, о скорости и интенсивности которой можно судить, прежде всего, по содержанию общего органического углерода ( $C_{опт}$ ), углерода гумуса ( $C_{гум}$ ), а также лабильного водорастворимого гумуса (ВГ) в почве до и после компостирования.

Компостирование дерновой лесной почвы без растительных остатков (контроль) достоверно снизило количество Сорг на 10 %.

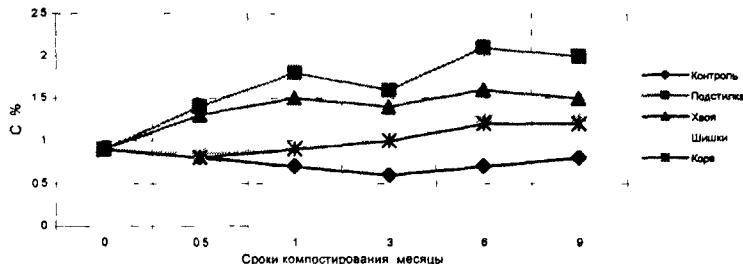


Рис. 8 Динамика содержания (Сгум) в дерновой лесной почве при компостировании

Достоверное увеличение Сорг к концу эксперимента относительно исходного содержания, было отмечено при внесении подстилки, опада из шишек, хвои и коры. Наибольшее увеличение Сорг было выявлено на вариантах с хвойой и подстилкой, что соответственно, в 2,8 – 3,2 раза выше, чем на контрольном варианте и в 2,6 – 2,9 раз превышало исходный показатель (1,0 %). Результаты опыта свидетельствуют о том, что свежий растительный

опад значительно повышает количество органического вещества (ОВ) в почвах.

Накопление углерода гумуса (рис. 8) в ходе компостирования заметно уже после 0,5 месяца в зависимости от вида растительных остатков. Существенное возрастание количества Сгум отмечено при компостировании хвои и подстилки соответственно в 1,8 и 2,5 раза по сравнению с контролем.

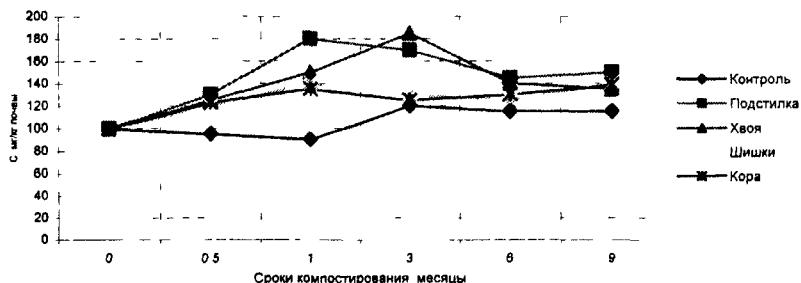


Рис. 9. Динамика содержания ВГ в дерновой лесной почве при компостировании

Содержание ВГ при компостировании зависело от вида надземного опада (рис. 9), а его динамика представляет собой кривую с возрастанием к 1 – 3 месяцам. После 6-ти, особенно 9-ти месяцев количество ВГ снижалось и стабилизировалось на одном уровне – 140 мг/кг.

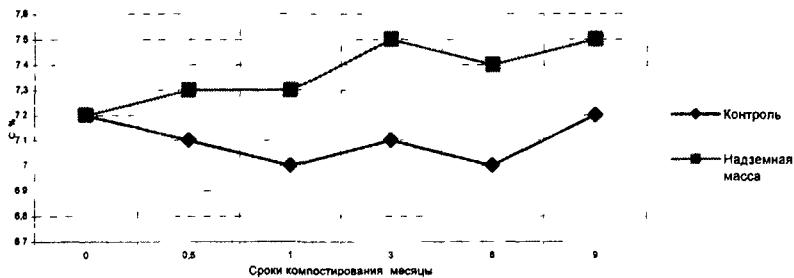


Рис. 10. Динамика содержания (Сгум) в луговой почве при компостировании

Контрольный вариант луговой почвы, также как и дерновой лесной, в динамике сопровождается потерей Сорг. При компостировании почвы, начиная с 3 месяца, происходит увеличение Сорг с 7,4 до 8,0 %. Содержание Сгум к концу опыта составило 7,5 %, тогда как на контроле 7,2 % (рис.9).

Доля ВГ в луговых почвах (рис. 11) уже в начале компостирования (1 мес.) значительно увеличилась и составила 525 мг/кг при контроле 485 мг/кг. К концу компостирования на варианте с надземной массой содержание гумуса достигло 535 мг/кг, на контроле, напротив, происходит уменьшение этого показателя до 475, при исходном значении 490 мг/кг.

Уменьшение доли ВГ с увеличением срока компостирования связано с отсутствием дополнительного поступления свежего материала, а также с новообразованием гумусовых веществ, микробной иммобилизацией и потерей в

результате минерализационных процессов.

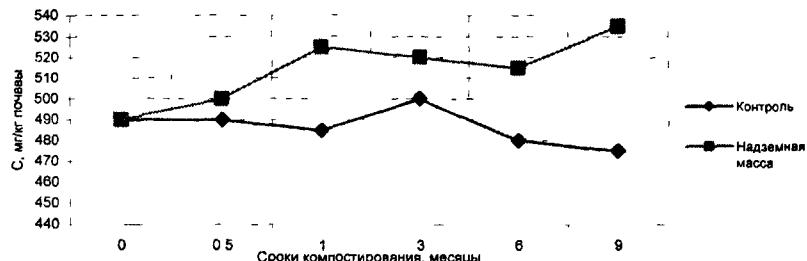


Рис. 11 Динамика содержания ВГ в луговой почве при компостировании

Компостирование в лабораторных оптимальных условиях растительного опада дерновых лесных почв показало, что объемы лабильных форм гумуса незначительны, что подтвердило наше предположение о концентрации углерода в ароматическом ядре ГК.

## ВЫВОДЫ

1. Дерновые лесные типичные почвы имеют средние содержание и запасы гумуса, низкую степень гумификации органического вещества, фульватно-гуматный тип гумуса. Дерновые лесные боровые характеризуются низким содержанием и запасами гумуса с преобладанием фульвокислот. Биологическая активность этих почв низка.
2. Луговые солончаковые почвы высокогумусны, с фульватно-гуматным характером гумуса, значительным содержанием подвижных гумусовых кислот, имеют низкую биологическую активность, связанную с засоленностью почв.
3. Гуминовые кислоты дерновых лесных и луговых почв характеризуются пониженным содержанием углерода и азота, значительным содержанием кислых функциональных групп, свидетельствующих о их высоких адсорбционных свойствах.
4. В макромолекуле ГК дерновых лесных почв значительна доля углерода ароматических компонентов, определяющая устойчивость гуминовых кислот и гумуса почвы в целом к внешним воздействиям.
5. В луговых почвах молекула ГК с невысокой степенью ароматизации с развитой алифатической частью, что придает гумусу и почвам в целом легкую податливость к разрушению.
6. При компостировании растительного опада луговых почв в значительном количестве образуется водорастворимый гумус, обусловленный богатым луговым фитоценозом. Однако присутствие в почве легкорастворимых солей натрия оказывающих пептизирующее воздействие на почвенные коллоиды, препятствует реакции конденсации гуминовых кислот, в результате которой в молекуле луговых почв преобладают углеродные компоненты алифатической структуры.

## Список работ по теме диссертации

1. Корсунова Ц.Д-Ц., Балданов Н.Д., Мильхеев Е.Ю. Каталазная активность пойменных почв дельты реки Селенга // Мат. X-междунар. конф. студ. и аспир. "Ломоносов-2003", М. -2003. – С. 10.
2. Балданов Н.Д., Корсунова Ц.Д-Ц., Чимитдоржиева Г.Д., Мильхеев Е.Ю. Деструкция органического вещества и биологическая активность пойменных почв дельты реки Селенги // Мат. междунар. конф. «Научные основы сохранения водосборных бассейнов: междисциплинарные подходы к управлению природными ресурсами». - Улан-Удэ: БНЦ СО РАН, 2004. - Т.2. - С. 104-105.
3. Мильхеев Е.Ю., Ревенский В.А., Егорова Р.А., Цыбенов Ю.Б., Борисова Т.С., Цыбикова Э.В. Аккумуляция и трансформация органических веществ в пойменных почвах прирусовой части р. Селенга // Там же.- Т.2. - С. 123-124.
4. Раднажапов А.Э., Мильхеев Е.Ю., Ходоева С.О., Егорова Р.А. Дерново-лесные и луговые почвы дельты реки Селенга // Мат. IV съезда Докучаевск. об-ва почвоведов «Почвы национальное достояние России». - Новосибирск: «Наука-центр», 2004.- Кн. 2. С. 203.
5. Егорова Р.А., Цыбенов Ю.Б., Мильхеев Е.Ю. О биологической активности почв Забайкалья // Там же. - Кн. 1.- С. 623.
6. Мильхеев Е.Ю., Корсунова Ц.Д-Ц. Структура микробоценоза почв дельты р. Селенга // Экология Южной Сибири: Матер. межд. науч. конф. студ. и молодых ученых. – Абакан, 2005. – С. 35.

Подписано в печать 27. 02. 2006 г. Формат 60x84 1/16.  
Бумага офсетная. Объем 1 печ. л. Тираж 100. Заказ № 7.

Отпечатано в типографии Изд-ва БНЦ СО РАН  
670047 г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой 6.

2006A  
4285

**# - 4285**