

*На правах рукописи*

САНДАНОВА ИРИНА БАТОМУНКУЕВНА

**МИКРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ ДЕСТРУКЦИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО  
ОПАДА СТЕПНЫХ ЭКОСИСТЕМ ЮГО-ВОСТОЧНОГО  
ЗАБАЙКАЛЬЯ**

03.00.16 – экология  
03.00.07 – микробиология

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук

Улан-Удэ

2007

Работа выполнена в Агинском филиале Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова.

Научный руководитель: кандидат биологических наук  
Буянтуева Любовь Батомункуевна

Научный консультант: доктор биологических наук, профессор  
Намсараев Баир Бадмабазарович

Официальные оппоненты: доктор биологических наук, профессор  
Анцупова Татьяна Петровна,  
кандидат биологических наук  
Лаврентьева Елена Владимировна

Ведущая организация: Забайкальский Государственный  
гуманитарно-педагогический университет им. Н.Г.Чернышевского, г. Чита

Защита диссертации состоится «16» мая 2007 г. в 11.00 часов на заседании Диссертационного совета Д 212.022.03 при Бурятском государственном университете по адресу: 670000, г. Улан-Удэ, ул. Смолина, 24а, биолого-географический факультет, конференц-зал, ауд. \_\_\_\_  
Факс: (3012) 21-15-93, e-mail: d21202203@mail.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Бурятского государственного университета и Бурятского научного центра СО РАН (г. Улан-Удэ)

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2007 г.

Ученый секретарь  
Диссертационного совета,  
кандидат биологических наук

Н.А. Шорноева

## **Общая характеристика работы**

### **Актуальность темы**

Деструкция растительных остатков – один из важнейших процессов, обеспечивающих устойчивость биогеоценозов. Благодаря активности различных ферментных систем, микроорганизмы играют ведущую роль в деструкции органического вещества растительного опада. Микробиологическая деструкция растительных остатков протекает повсеместно, от нее зависит существование биологического круговорота элементов в природе и формирование плодородия почв. Интенсивность микробиологической деструкции зависит от эндогенных (структура и ферментативная активность микробных сообществ) и экзогенных (абиотические и биотические) факторов среды обитания.

Ранее проведенные исследования по микробиологической деструкции растительного опада (Мирошниченко, 1973; Малишевская, Титов, 1977; Паринкина и др., 1994; Якутин, 1998; Буянтуева, 2000; Бурюхаев, 2000; Евграфова, 2001; Шварц, 2001; Банзаракцаева, 2002) выявили большое разнообразие бактерий, грибов и актиномицетов, участвующих в этом процессе, и показали их важную роль в разложении растительных остатков в различных регионах Евразии. Однако интенсивность микробиологической деструкции растительного опада в степной зоне Юго-Восточного Забайкалья до сих пор не изучена.

### **Цель и задачи исследований**

Основной целью исследования было изучение микробиологической деструкции растительного опада степных экосистем Юго-Восточного Забайкалья.

В задачи исследования входило:

1. Изучить видовой состав растительных степных сообществ Юго-Восточного Забайкалья и их продуктивность.
2. Определить содержание органического вещества и элементный химический состав растительного опада.
3. Изучить сезонную динамику численности микроорганизмов-деструкторов.
4. Исследовать ферментативную активность целлюлозоразлагающих бактерий (ЦРБ) и протеолитиков.
5. Определить скорость микробиологической деструкции растительных остатков и оценить влияние различных факторов на этот процесс.
6. Изучить влияние абиотических факторов окружающей среды на характер микробиологической деструкции модельных субстратов.

### **Научная новизна.**

Впервые исследована структура и деятельность микробных сообществ растительного опада степных фитоценозов Юго-Восточного Забайкалья.

Определен вклад различных физиологических групп бактерий и грибов в аэробную и анаэробную деструкцию органического вещества растительных остатков. Впервые определены количественные показатели интенсивности разложения растительного опада в степных сообществах и изучено влияние абиотических факторов (температуры и влажности) на скорости микробиологической деструкции. Исследованы целлюлазная и протеазная активности микроорганизмов растительного опада, корней и почв.

#### **Теоретическая значимость.**

Результаты проведенных исследований микробиологической деструкции растительного опада определяют количественные и качественные особенности процессов круговорота веществ степных экосистем Восточного Забайкалья, а также отражают экологический потенциал местообитаний, их зональную, региональную и ландшафтную специфику.

#### **Практическая ценность.**

Данные о распространении микроорганизмов разных физиологических групп в растительном опаде и их активности характеризуют темпы минерализации органического вещества в степных сообществах, что имеет важное значение для оценки состояния степных экосистем. Данные о продуктивности надземной фитомассы растительных сообществ могут быть использованы для оценки кормовой базы животных в данном регионе.

#### **Публикации.**

По материалам исследования опубликовано 11 работ.

#### **Апробация работы.**

Материалы диссертации доложены на международной научной конференции студентов и молодых ученых «Экология Южной Сибири и сопредельных территорий» (Абакан, 2003), на международной научно-практической конференции «Проблемы образования, науки и воспитания студентов в аграрных учебных заведениях» (Чита, 2004), на Всероссийской конференции с международным участием «Биоразнообразие экосистем Внутренней Азии» (Улан-Удэ, 2006), на научно-практической конференции преподавателей, сотрудников и аспирантов БГУ (Улан-Удэ, 2007), на Всероссийской конференции молодых ученых «Экология в современном мире: взгляд научной молодежи» (Улан-Удэ, 2006).

#### **Структура и объем диссертации.**

Диссертация состоит из введения, обзора литературы, экспериментальной части, выводов и списка литературы. Работа изложена на ... страницах машинописного текста, включая ... таблицы и ... рисунки. Список литературы включает ... наименований, в том числе ... на иностранных языках.

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

### **Глава 1. Природно-климатические особенности Юго-Восточного Забайкалья**

Приведен материал о природно-климатических особенностях Юго-Восточного Забайкалья. Дана общая характеристика степной растительности данного региона.

### **Глава 2. Растительный опад и его химический состав**

В главе рассмотрены данные по величине растительного опада в различных почвенно-климатических зонах. Приведены результаты по содержанию органического и элементного состава растительных остатков в различных регионах. Выявлена биологическая роль отдельных элементов в регуляции продуктивности растений и их микробиологической деструкции.

### **Глава 3. Микробиологическая деструкция органического вещества растительного опада**

Дано описание микробных сообществ растительного опада, рассмотрена сукцессия микробных сообществ в процессе его разложения. Дана характеристика ферментативной активности микроорганизмов-деструкторов. Приведен материал об интенсивности разложения растительных остатков в различных климатических зонах и влиянии абиотических факторов окружающей среды на скорость микробиологической деструкции органического вещества растительного опада.

## **Экспериментальная часть**

### **Глава 4. Объекты и методы исследования**

Для изучения микробиологической деструкции растительного опада выбраны наиболее распространенные в Агинском Бурятском автономном округе степные растительные сообщества: ковыльно-типчаково-пястилистниковое, нителлистниково-разнотравное, рожконосносведовое. Сбор растительного материала (опад надземной части травянистых растений) и микробиологические исследования проводились с 2002 по 2004 гг. на территории Агинского района, расположенного в Приононской степной равнине по трансекте от с.Цокто-Хангил до с.Будалан. В исследованных сообществах выполняли стандартные геоботанические описания. Биологическая продуктивность надземной фитомассы травостоя определялась методом укусных площадок в пяти повторностях (Родин и др., 1968). Укусы проводились в период цветения и плодоношения

основных доминантов и содоминантов сообщества. Продуктивность определялась в сухой массе. Латинские названия растений приведены по сводке С.К. Черепанова (1995).

Химический анализ включал определение органического вещества и элементного состава растительного материала. Целлюлозу определяли по модифицированному методу Кюршнера и Хафера, лигнин – по методу Классона (Методы..., 1987), жиры и водорастворимые вещества методом экстракции (Александрова, 1980; Братерский, Пелявин, 1983). Содержание протеина рассчитывали по общему азоту умножением на коэффициент 6,25. Калий определяли методом пламенной фотометрии, азот, фосфор – колориметрическим методом. Кальций, магний, железо, медь, цинк, марганец, натрий, кобальт, хром, кадмий определяли методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии (Практикум..., 1987).

Исследование микробных ценозов растительного опада проводили по методу «обрастания стекол» по Холодному (Теппер, 1978). Заселенность растительных опавов микроорганизмами оценивали по 5-балльной шкале (Носова и др., 1984). Исследование скорости разложения растительного опада проводили методом механической изоляции (Перель, Карпачевский, 1968).

Учет численности микроорганизмов проводили методом предельных разведений. Аэробные и анаэробные целлюлозоразлагающие бактерии (ЦРБ) выращивали в жидкой среде Гетчинсона (Романенко, Кузнецов, 1974) с добавлением фильтровальной бумаги. Учет численности аэробных и факультативно-анаэробных протеолитиков, амилолитиков и глюколитиков проводили на агаризованной среде Пфеннига (Phenning, 1965) с добавлением 1,5% пептона, крахмала и глюкозы. Для учета численности грибов использовали агаризованную среду Чапека (Большой практикум..., 1962). Для определения количества целлюлозоразрушающих грибов использовали эту же среду с добавлением фильтровальной бумаги. Численность актиномицетов определяли на агаризованной крахмало-аммиачной среде (Практикум по микробиологии, 1976). Для выделения сапрофитов и споровых сапрофитов использовали агаризованную среду РПА. Морфологические признаки микроорганизмов изучали, используя микроскоп (PZO, Польша), увеличение - 1500 раз.

Для количественной оценки целлюлазной активности эндо-, экзо-1,4  $\beta$ -глюканазы и  $\beta$ -глюкозидазы использовали метод, основанный на определении восстанавливающих сахаров, образующихся при действии целлюлазного комплекса на различные субстраты: фильтровальную бумагу, Na-КМЦ и целлобиозу. Редуцирующие сахара определяли по модифицированному методу Шомодьи-Нельсона (Билай, 1982). Для количественной оценки протеазной активности использовали спектрофотометрический метод. В качестве белкового субстрата использовали 1% казеин (рН 7). За единицу целлюлазной и протеазной

активности принимали количество ферментов, образовавших 1 мкмоль/мл глюкозы и тирозина за 1 мин. в условиях опыта.

Влияние абиотических факторов окружающей среды (температуры и осадки) на темпы микробиологической деструкции модельных субстратов (целлюлозы и белка) исследовали аппликационным методом (Мишустин, Петрова, 1987).

## Глава 5. Результаты исследований

### 5.1. Видовой состав степных растительных сообществ Юго-Восточного Забайкалья и их продуктивность

1. Ковыльно-типчаково-пятилистниковое сообщество, приуроченое к верхним частям склонов, произрастает на горно-каштановой бескарбонатной почве и характеризуется сравнительно однородным, высоким и густым травостоем. Общее проективное покрытие составляет 90-100%. Высота побегов колеблется от 10 см до 80 см. Видовой состав на 1 м<sup>2</sup> представлен 10-15 видами растений. Общий запас надземной фитомассы составил 2,4-4,5 ц/га. В травостое преобладают: *Stipa krylovii*, *Festuca lenensis*, *Caragana microphylla*. Из разнотравья здесь встречаются: *Thymus dahuricus*, *Artemisia frigida*, *Allium bidentatum*, *Polygonum alopecuroides*, *Vupleurum scorzonerifolium* и единично встречается степной кустарник – *Spiraea flexuosa*. В состав сообщества входит в основном разнотравье - 64,8-68,7% от сухой массы, и злаки - 31,2-33,2%. Отмечается незначительное количество осоковых – 0,1-0,2% и бобовых – 0,07-0,1%.

2. Нителистниково-разнотравное сообщество располагается на равнинных участках и произрастает на каштановой почве. Проективное покрытие составляет 40-45%. Средняя высота травостоя составляет 20-25 см, отдельные растения имеют высоту до 50-55 см. Количество видов на 1 м<sup>2</sup> – 30-35. Общий запас живой надземной фитомассы составил 1,1-1,6 ц/га. В основном преобладают многолетние растения (*Filifolium sibiricum*, *Scutellaria baicalensis*) с мощной корневой системой. В состав травостоя входят разнотравье - 84,9-87,5%, злаки - 9,9-12,6%, доля бобовых незначительна и составила 0,5-0,9%.

3. Рожконосное сообщество находится на сорowych корковых солончаках хлоридно-натриевого засоления по берегу озера Хилганта. Проективное покрытие составляет 70-80%. Высота травостоя в основном составляет 17-20 см. Редкие побеги *Achnatherum splendens* могут достигать до 90 см. Количество видов на 1 м<sup>2</sup> – 5-7. Биологическая продуктивность надземной фитомассы составила 0,9-1,4 ц/га. Господствуют *Suaeda corniculata*, *Carex reptabunda*, *Achnatherum splendens*. В состав травостоя входят: разнотравье - 71,4-76,9%, осоковые - 12,7-27,8%, злаковые - 0,4-0,7%.

Описанные растительные сообщества по флористическому составу типичны для степных экосистем Юго-Восточного Забайкалья. Было выделено пять экологических групп: эуксерофиты, мезоксерофиты, стипаксерофиты, ксеромезофиты, галофиты. В ковыльно-типчаково-пястилистниковом и нителистниково-разнотравном сообществах доминируют эуксерофиты (*Artemisia frigida*, *Filifolium sibiricum*, *Allium bidentatum*), а в рожконосносведовом сообществе представлены в основном галофиты (*Knorringia sibirica*, *Suaeda corniculata*, *Artemisia anethifolia*). Фитоценотическая роль мезоксерофитов (*Bupleurum scorzonerifolium*), стипаксерофитов (*Stipa krylovii*), ксеромезофитов (*Potentilla tanacetifolia*, *Schizonepeta multifida*, *Stellera chamaejasme* и т.д.) незначительна.

## 5.2. Химический состав растительного опада

Особенностью степных растительных сообществ Юго-Восточного Забайкалья является высокое содержание целлюлозо-лигнинного комплекса. Некоторые авторы (Жамьянова, Чимитдоржиева, 1995) рассматривают высокую лигнифицированность растительных остатков как приспособительную реакцию растений к неблагоприятным криоаридным условиям резко континентального климата Забайкалья. Содержание целлюлозы и лигнина в растительном опаде составило 23,3-26,9% и 25,6-34,3% соответственно (табл. 1). Больше всего целлюлозы обнаружено в растительном опаде ковыльно-типчаково-пястилистникового сообщества, меньше всего ее содержится в растениях рожконосносведового сообщества.

Таблица 1

Органическое вещество растительного опада степных сообществ Юго-Восточного Забайкалья (в % от сухого вещества)

Органические вещества	Ковыльно-типчаково-пястилистниковое	Нителистниково-разнотравное	Рожконосносведовое
Протеин	9,3	12,1	12,2
Водорастворимые вещества	21,5	20,3	22,7
Липиды	2,3	2,9	2,6
Лигниноподобные вещества	34,3	31,6	25,6
Целлюлоза	26,9	25,5	23,5

Одной из важнейших характеристик фитоценозов является содержание в них белка. Содержание протеинов в исследованных степных сообществах составило 9,3-12,2%. Больше всего протеинов обнаружено в растительных остатках рожконосносведового сообщества (12,2%). Содержание липидов и водорастворимых органических веществ в

растительных образцах колеблется от 2,3 до 2,9% и от 20,3 до 22,7% соответственно.

Исключительно важное значение имеет оценка элементного химического состава растительного опада. Количественная оценка ежегодного поступления минеральных элементов с опадом – один из существенных показателей интенсивности малого биологического круговорота.

Макро- и микроэлементы в зависимости от их содержания в растительных остатках исследуемых степных фитоценозов можно расположить следующим образом: ковыльно-типчаково-пятилистниковое N>K>Ca>Mg>P>Na>Fe>Mn>Zn>Cu>Co>Cr>Cd; нителистниково-разнотравное N>K>Ca>Mg>P>Fe>Na>Mn>Zn>Cu>Cr>Co>Cd; рожконосносведовое N>Ca>K>Mg>P>Na>Fe>Mn>Zn>Cu>Cr>Co>Cd.

Несмотря на различное местоположение элементов в рядах, химический состав степных сообществ характеризуется определенной общностью. Элементами-доминантами являются N, K, Ca, Mg, P, их содержание в растительных остатках составляет 1,9-2,4%, 0,6-0,9%, 0,3-1,4%, 0,1-0,4%, 0,1-0,2%. Содержание микроэлементов Zn, Cu, Co, Cr, Cd находится в пределах от 12,6 до 32,4 мг/кг, 6,2-7,7 мг/кг, 1,6-3,09 мг/кг, 1,02-2,5 мг/кг, 0,05-0,3 мг/кг. Рожконосносведовое сообщество имеет более высокое по сравнению с другими сообществами содержание азота (2,4%), калия (0,8%), фосфора (0,2%), магния (0,4%) и железа (0,08%). Особенно высоки концентрации Ca и Na (1,4% и 0,2%). Общий запас химических элементов, вовлеченных в биологический круговорот в исследованных степных фитоценозах, составляет от 15,7 кг/га до 77,3 кг/га. Тип химизма – азотный.

### 5.3. Микробные сообщества растительного опада

Микробные сообщества растительного опада степных сообществ Юго-Восточного Забайкалья состоят из различных видов грибов, бактерий, актиномицетов и водорослей. Максимальная плотность обрастания стекол микроорганизмами и их большое разнообразие обнаружены в рожконосносведовом сообществе. Преобладающими в микрофлоре на всех исследуемых стеклах обрастания были бактерии. Основная масса клеток – палочки различных форм (длинные палочки, утолщенные короткие палочки, образующие цепочку из двух и более клеток) и размеров. Длина варьировала от 0,6 до 3 мкм., толщина от 0,3 до 1,1 мкм., а также встречались бактерии кокковидной и овальной форм, их диаметр варьировал от 0,4 мкм. до 0,8 мкм.

Комплекс грибов на стеклах обрастания представлен мицелиальными формами и спорами. Среди грибов, выделенных из стекол обрастания, были идентифицированы представители родов *Mucor*, *Penicillium*, *Rhizopus*, *Aspergillus* и *Fusarium*. Доминирующими были *Penicillium*,

*Aspergillus*, *Mucor*. Гифы актиномицетов располагались по всему стеклу в виде редкого мицелия. Наибольшая плотность обрастания стекол актиномицетами обнаружена в рожконосносведовом сообществе. Также нами было обнаружено большое количество фототрофных организмов, среди которых морфологически различимы диатомовые, зеленые водоросли и цианобактерии. На стеклах обрастания в растительных остатках рожконосносведового сообщества наиболее часто встречаются нитевидные цианобактерии. В основном это представители родов *Microcoleus* и *Phormidium*.

Наличие на стеклах большого количества бактерий и водорослей, а также содержание разветвленных гифов грибов и актиномицетов свидетельствуют о бурном развитии и активной биохимической деятельности микроорганизмов растительного опада.

#### **5.4. Сезонная динамика численности микроорганизмов-деструкторов, грибов и актиномицетов.**

##### Бактерии

Преобладающими по численности среди микроорганизмов-деструкторов были бактерии. Общая численность аэробных и факультативно-анаэробных сапрофитов в растительных остатках представлена в таблице 2. Численность сапрофитов в разлагающемся растительном опаде больше, чем в зеленой фитомассе на 1-4 порядка, и составляет  $10^5 - 10^7$  кл/г сухого растительного остатка. Максимальная численность сапрофитов обнаружена в ранне-осенний и весенний периоды во всех исследованных растительных образцах. Среди аэробных сапрофитов свежего растительного опада выявлено большое количество пигментированных форм (ярко-оранжевые и желтые). Они составляют 50% от общего числа бактерий.

Участие тех или иных микроорганизмов в разложении растительных остатков определяется, прежде всего, особенностями их ферментных систем. Методом элективных сред изучены аэробные, факультативно-анаэробные физиологические группы бактерий: протеолитики, амилитики и глюколитики (табл. 2). В растительном опаде численность данных физиологических групп бактерий выше численности в зеленой растительной массе на 1-3 порядка. Максимальная численность аэробных и факультативно-анаэробных протеолитиков, амилитиков, глюколитиков зафиксирована в разлагающихся растительных остатках рожконосносведового сообщества. Минимальная численность данных физиологических групп бактерий отмечена в растительных остатках нителестниково-разнотравного сообщества.

В течение года численность данных физиологических групп бактерий растительных образцов подвержена значительным изменениям (табл. 2).

Наибольшее количество бактерий в разлагающихся растительных остатках зафиксировано в ранне-осенний и весенний периоды.

Таблица 2

Динамика численности аэробных и факультативно-анаэробных сапрофитов, протеолитиков, глюколитиков, амилолитиков (клеток на 1 грамм сухого растительного остатка)

	Сообщества	Количество сапрофитов		Численность микроорганизмов					
		аэробы	фак. анаэробные	Протеолитики		Амилолитики		Глюколитики	
				аэробы	фак. анаэробные	аэробы	фак. анаэробные	аэробы	фак. анаэробные
июль (2003) (зеленые растения)	Ковыльно-тигчаково- птылишниковое	$5,3 \cdot 10^5$	$4,1 \cdot 10^4$	$8,3 \cdot 10^4$	$5,6 \cdot 10^3$	$6,5 \cdot 10^3$	$7,6 \cdot 10^3$	$1,4 \cdot 10^3$	$5,3 \cdot 10^4$
	Нителишниково- разноразное	$2,9 \cdot 10^4$	$6,9 \cdot 10^5$	$5,1 \cdot 10^3$	$1,1 \cdot 10^4$	$4,1 \cdot 10^4$	$2,1 \cdot 10^2$	$1,2 \cdot 10^3$	$4,1 \cdot 10^4$
	Рожконосцевое	$3,4 \cdot 10^4$	$2,8 \cdot 10^3$	$4,3 \cdot 10^4$	$4,6 \cdot 10^3$	$2,9 \cdot 10^2$	$5,0 \cdot 10^2$	$1,4 \cdot 10^4$	$2,3 \cdot 10^5$
август (2003) (свежий опад)	Ковыльно-тигчаково- птылишниковое	$1,6 \cdot 10^5$	$6,9 \cdot 10^5$	$6,3 \cdot 10^5$	$8,1 \cdot 10^5$	$7,1 \cdot 10^3$	$6,4 \cdot 10^6$	$5,6 \cdot 10^4$	$2,3 \cdot 10^4$
	Нителишниково- разноразное	$7,5 \cdot 10^4$	$4,0 \cdot 10^5$	$2,2 \cdot 10^4$	$6,2 \cdot 10^5$	$5,9 \cdot 10^3$	$4,6 \cdot 10^5$	$1,2 \cdot 10^3$	$6,1 \cdot 10^4$
	Рожконосцевое	$4,6 \cdot 10^5$	$1,8 \cdot 10^3$	$8,0 \cdot 10^4$	$2,3 \cdot 10^6$	$6,1 \cdot 10^5$	$4,1 \cdot 10^6$	$6,4 \cdot 10^3$	$5,4 \cdot 10^4$
май (2004) (разлагающийся опад)	Ковыльно-тигчаково- птылишниковое	$3,0 \cdot 10^6$	$6,6 \cdot 10^6$	$3,4 \cdot 10^6$	$1,4 \cdot 10^6$	$2,6 \cdot 10^5$	$3,6 \cdot 10^6$	$2,4 \cdot 10^6$	$5,7 \cdot 10^6$
	Нителишниково- разноразное	$6,1 \cdot 10^6$	$3,7 \cdot 10^6$	$6,5 \cdot 10^5$	$2,8 \cdot 10^6$	$1,2 \cdot 10^5$	$4,9 \cdot 10^6$	$3,6 \cdot 10^5$	$6,7 \cdot 10^5$
	Рожконосцевое	$5,9 \cdot 10^6$	$8,0 \cdot 10^6$	$4,7 \cdot 10^6$	$2,4 \cdot 10^6$	$2,8 \cdot 10^7$	$4,7 \cdot 10^6$	$4,7 \cdot 10^6$	$6,9 \cdot 10^6$
сентябрь (2004) (разлагающийся опад)	Ковыльно-тигчаково- птылишниковое	$5,0 \cdot 10^7$	$9,4 \cdot 10^6$	$4,3 \cdot 10^5$	$1,3 \cdot 10^6$	$2,4 \cdot 10^6$	$5,9 \cdot 10^6$	$4,8 \cdot 10^6$	$3,2 \cdot 10^6$
	Нителишниково- разноразное	$3,9 \cdot 10^6$	$1,2 \cdot 10^6$	$2,1 \cdot 10^5$	$3,2 \cdot 10^5$	$2,9 \cdot 10^5$	$1,3 \cdot 10^6$	$5,1 \cdot 10^5$	$4,6 \cdot 10^5$
	Рожконосцевое	$2,0 \cdot 10^7$	$4,3 \cdot 10^7$	$5,6 \cdot 10^5$	$4,9 \cdot 10^6$	$1,3 \cdot 10^7$	$6,5 \cdot 10^6$	$5,2 \cdot 10^6$	$7,2 \cdot 10^6$

Большой интерес среди микроорганизмов-деструкторов органического вещества растительного опада представляют целлюлозоразрушающие бактерии (табл. 3). Целлюлоза, основной биополимер растений, представляет собой один из важнейших субстратов в процессе разложения растительного опада и занимает центральное место в круговороте органического углерода. В эпифитной микрофлоре растительных остатков и в свежем растительном опаде отмечено незначительное количество аэробных и анаэробных целлюлолитиков, численность их составила десятки, сотни кл/г сухого растительного остатка. Активная деятельность аэробных и анаэробных целлюлозоразлагающих бактерий наблюдается в разлагающихся растительных остатках, количество их достигает  $6,5 \cdot 10^2 - 9,7 \cdot 10^4$  кл/г и  $6,02 \cdot 10^2 - 7,6 \cdot 10^4$  кл/г соответственно.

Таблица 3

Динамика численности целлюлозо-разрушающих бактерий, кл/г

Сообщества	июль (2003) (зеленые растения)		август (2003) (свежий опад)		май (2004) (разлагающийся опад)		сентябрь (2004) (разлагающийся опад)	
	аэробы	анаэробы	аэробы	анаэробы	аэробы	анаэробы	аэробы	анаэробы
Ковыльно- типчачково- пяпилистниковое	$2,0 \cdot 10^3$	$4,6 \cdot 10^3$	$4,2 \cdot 10^3$	$4,5 \cdot 10^2$	$6,5 \cdot 10^3$	$5,9 \cdot 10^3$	$9,7 \cdot 10^4$	$7,6 \cdot 10^4$
Нителистниково- разнотравное	$3,2 \cdot 10^3$	$3,6 \cdot 10^3$	$4,6 \cdot 10^3$	$6,3 \cdot 10^3$	$5,4 \cdot 10^3$	$6,0 \cdot 10^2$	$8,6 \cdot 10^4$	$6,5 \cdot 10^3$
Рожконосное-сведовое	$2,3 \cdot 10^3$	$3,7 \cdot 10^3$	$5,3 \cdot 10^3$	$4,2 \cdot 10^3$	$6,9 \cdot 10^3$	$5,7 \cdot 10^3$	$9,1 \cdot 10^4$	$2,1 \cdot 10^3$

Микромицеты

Большую роль в деструкции растительного опада играют грибы. Численность микромицетов в зеленой растительной массе и в свежем опаде составляет  $10^3$  кое/г и  $10^3-10^4$  кое/г соответственно (табл.4). Увеличение численности грибов наблюдается в весенний и ранне-осенний периоды, их количество достигает  $10^4-10^5$  кое/г. Среди микромицетов, выделенных из растительного материала, были идентифицированы представители родов *Penicillium*, *Aspergillus*, *Fusarium*, *Mucor* и *Rizopus*.

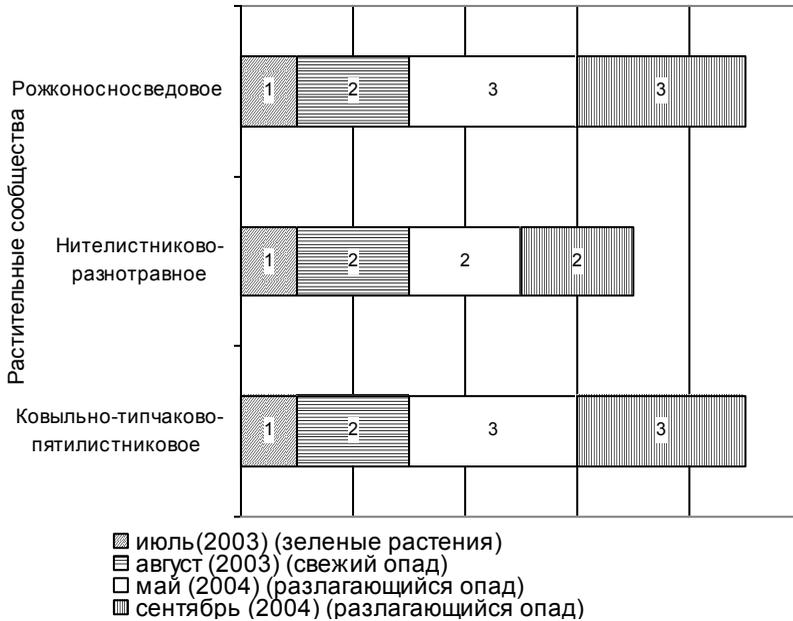
Таблица 4

Сезонная динамика численности микромицетов, кое/г

Сообщества	июль (2003) (зеленые растения)	август (2003) (свежий опад)	май (2004) (разлагающийся опад)	сентябрь (2004) (разлагающийся опад)
Ковыльно-типчачково- пяпилистниковое	$10^3$	$10^3$	$10^4$	$10^5$
Нителистниково- разнотравное	$10^3$	$10^4$	$10^4$	$10^5$
Рожконосное-сведовое	$10^3$	$10^3$	$10^5$	$10^5$

Сезонная динамика численности целлюлозоразрушающих грибов растительного опада степных сообществ Юго-Восточного Забайкалья представлена в рис. 1. Учет численности проводили по 5-балльной шкале (Методы экспер. микологии..., 1982).

## Сезонная динамика численности целлюлозоразрушающих грибов



Примечание: 1 балл - очень слабо развитый мицелий; 2 балла - слабо развитый мицелий, не обволакивает фильтровальную бумагу; 3 балла - мицелий обволакивает фильтровальную бумагу, но нет деградации; 4 балла - частичная деградация фильтровальной бумаги; 5 баллов - полная деградация фильтровальной бумаги.

В эпифитной микрофлоре численность целлюлозоразрушающих грибов из-за слабо развитого мицелия оценена в 1 балл. В разлагающихся растительных остатках по сравнению со свежим опадом наблюдается более развитый мицелий целлюлозоразрушающих грибов, обволакивающий фильтровальную бумагу, и частичная деградация последней. Численность целлюлозоразрушающих грибов в растительном опаде оценена в 2-3 балла.

#### Актиномицеты

Численность актиномицетов в свежем опаде незначительна и составляет от  $3,1 \cdot 10^1$  кое/г до  $4,2 \cdot 10^1$  кое/г, а в живой фитомассе актиномицеты отсутствуют. В разлагающихся растительных остатках численность актиномицетов увеличивается от  $5,0 \cdot 10^2$  до  $4,2 \cdot 10^4$  кое/г (табл. 6). Отсутствие актиномицетов и незначительное их количество, видимо, обусловлено высокой чувствительностью к фитонцидам, концентрация которых довольно высока в зеленой фитомассе и в свежем

опаде, а также неконкурентноспособностью их с микроорганизмами, использующими легкодоступные органические вещества. Актиномицеты начинают свою деятельность на более поздних этапах разложения растительных остатков.

Таблица 6

Динамика численности актиномицетов, кое/г

Сообщества	июль (2003) (зеленые растения)	август (2003) (свежий опад)	май (2004) (разлагающийся опад)	сентябрь (2004) (разлагающийся опад)
Ковыльно-типчаково-пястилистниковое	-	$3,1 \cdot 10^1$	$5,0 \cdot 10^2$	$3,4 \cdot 10^3$
Нителистниково-разнотравное	-	$4,2 \cdot 10^1$	$2,5 \cdot 10^3$	$3,9 \cdot 10^3$
Рожконосносведовое	-	$3,6 \cdot 10^1$	$8,9 \cdot 10^3$	$4,2 \cdot 10^4$

Примечание: «-» - не обнаружено

## 5.5. Ферментативная активность микроорганизмов-деструкторов

### Целлюлазная активность микроорганизмов-деструкторов

Установлено, что ферментативный гидролиз целлюлозы осуществляется комплексом ферментов эндо-, экзо-1,4-β-глюканазы и целлобиазы (Билай, 1982). Экзо-1,4-β-глюканазная активность ферментов, инициирующих гидролиз нативной целлюлозы в фильтрате накопительных культур растительного опада исследованных фитоценозов, колеблется в пределах от 0,027 до 0,057 ед. (табл. 7). Максимальная экзо-1,4-β-глюканазная активность ферментов обнаружена в накопительных культурах растительного опада рожконосносведовое сообщества и соответствует 0,057 ед. Значительно уступает ей по величине экзо-1,4-β-глюканазная активность накопительных культур нителистниково-разнотравного, ковыльно-типчаково-пястилистникового сообществ и составляет 0,027 ед., 0,028 ед. соответственно.

Эндо-1,4-β-глюканазная активность в накопительных культурах растительного опада составила 0,182 - 0,209 ед. Максимальное значение активности данного фермента наблюдается в накопительной культуре рожконосносведового сообщества, а минимальное – в накопительной культуре нителистниково-разнотравного сообщества.

Целлобиазная активность накопительных культур исследуемых растительных образцов составила 0,140 - 0,147 ед. Наибольшая активность ферментов, равная 0,147 ед., наблюдается в накопительных культурах растительного опада рожконосносведового сообщества, а наименьшая – в ковыльно-типчаково-пястилистниковом сообществе (0,140 ед.).

Несколько уступают по величине целлюлолитической активности

накопительные культуры живой фитомассы. Отмечена низкая целлюлазная активность накопительных культур почв и корней.

Таблица 7

Целлюлазная активность бактерий накопительных культур,  
ед. (ммоль/мл в мин.)

	Сообщества	Целлюлазная активность		
		экзо-1,4-β- глюконаза	эндо-1,4-β- глюконаза	целлюбиаза
Мертвая фитомас- са (опад)	Ковыльно-типчаково- пятилистниковое	0,028	0,190	0,140
	Нителестниково-разнотравное	0,027	0,182	0,146
	Рожконососведовое	0,057	0,209	0,147
Живая фитомас- са	Ковыльно-типчаково- пятилистниковое	0,013	0,193	0,138
	Нителестниково-разнотравное	0,015	0,169	0,137
	Рожконососведовое	0,043	0,204	0,132
Корни	Ковыльно-типчаково- пятилистниковое	0,007	0,171	0,101
	Нителестниково-разнотравное	0,013	0,149	0,113
	Рожконососведовое	0,036	0,161	0,114
Почва	Ковыльно-типчаково- пятилистниковое	0,012	0,180	0,137
	Нителестниково-разнотравное	0,014	0,169	0,126
	Рожконососведовое	0,037	0,181	0,121

Величины эндо-, экзо-1,4-β-глюкоканазной и целлюбиазной активности различаются. Наибольшая целлюлазная активность обнаружена у эндо-1,4-β-глюконаз (0,149-0,209 ед.), а наименьшая – у экзо-1,4-β-глюконаз (0,007-0,057 ед.).

#### Протеазная активность микроорганизмов-деструкторов

Протеазная активность микроорганизмов в фильтрате накопительных культур растительного опада исследованных фитоценозов колеблется в пределах 0,207 - 0,291 ед. (табл. 8). Максимальная активность ферментов обнаружена в накопительных культурах растительного опада ковыльно-типчаково-пятилистникового сообщества и соответствует 0,291 ед. Незначительно уступает ей по величине протеазная активность нителестниково-разнотравного сообщества и составляет 0,247 ед. Минимальная активность ферментов, равная 0,207 ед., обнаружена в накопительных культурах рожконососведового сообщества. Протеазная активность микроорганизмов накопительных культур живой фитомассы и почв колеблется в пределах от 0,206 до 0,274 ед. и от 0,189 до 0,231 ед. соответственно. Выявлена низкая активность в накопительных культурах корней, которая составляет 0,160 - 0,196 ед.

Таблица 8.

Протеазная активность микроорганизмов накопительных культур,  
ед. (мкмоль/мл в мин.)

	Сообщества	Протеазная активность
Мертвая фитомасса (опад)	Ковыльно-типчаково- пятилистниковое	0,291
	Нителистниково-разнотравное	0,247
	Рожконосносведовое	0,207
Живая фитомасса	Ковыльно-типчаково- пятилистниковое	0,274
	Нителистниково-разнотравное	0,239
	Рожконосносведовое	0,206
Корни	Ковыльно-типчаково- пятилистниковое	0,196
	Нителистниково-разнотравное	0,187
	Рожконосносведовое	0,160
Почва	Ковыльно-типчаково- пятилистниковое	0,231
	Нителистниково-разнотравное	0,205
	Рожконосносведовое	0,189

### 5.6. Скорость микробиологической деструкции растительного опада

Скорость микробиологического разложения растительного опада степных сообществ Юго-Восточного Забайкалья зависит, прежде всего, от качества субстрата (видовой и химический состав). Растительные образцы рожконосносведового сообщества, в большинстве представленные разнотравьем и в меньшей степени осоковыми и злаковыми, подвергаются максимальной деструкции. За 2003 год разложению подверглось 66,28% растительного опада. Растительные остатки ковыльно-типчаково-пятилистникового сообщества, содержащие большое количество злаковых, подвергаются минимальной деструкции. В течение года растительная масса уменьшилась на 49,18%. В нителистниково-разнотравном сообществе деструкции подверглось 54,73% растительного опада.

Большое влияние на скорость деструкции оказывает химический состав разлагающегося растительного опада. Меньше всего подверглись разложению растительные остатки ковыльно-типчаково-пятилистникового сообщества, содержащие большое количество целлюлозы и лигнина – 26,9%; 34,3%. Более интенсивная деструкция растительных остатков отмечена в рожконосносведовом сообществе, содержащем большое

количество водорастворимых веществ, белка и зольных элементов, а также минимальное количество целлюлозы и лигнина - 23,3%; 23,8%.

Процесс деструкции в значительной мере зависит от оптимального соотношения температуры воздуха и количества осадков. По гидротермическим условиям наиболее благоприятным был 2003 год. Количество осадков составило 365,2 мм, а среднее значение температуры – 6,8<sup>0</sup>С. В течение этого периода разложению подверглось 49,18-66,28% растительного опада, что в сутки составило 44,1-63,4 мг. Более низкая скорость разложения растительного опада, равная 32,6-39,7 мг/сут., отмечена в 2004 г. (количество осадков - 184,4 мм, среднее значение температуры -0,7<sup>0</sup>С).

Интенсивность микробиологического разложения растительного опада колеблется в зависимости от времени года. Сезонная динамика деструкции надземной фитомассы имеет одинаковый характер в разные годы исследования (2003, 2004гг.), но различается по количественному показателю (табл.9).

Таблица 9

Скорость разложения растительных остатков в исследуемых степных сообществах Юго-Восточного Забайкалья 2003-2004 гг., мг/сут.

Растительные сообщества	20.10.02 1.04.03	1.04.03 5.07.03	5.07.03 4.08.03	14.08.03 20.10.03	За год	20.10.03 10.05.04	10.05.04 04.07.04	04.07.04 14.08.04	14.08.04 10.10.04	За год
Ковыльно- типчаково- пяпилистнико- вое	0,2	1,9	21,1	20,9	44,1	0,3	0,9	14,7	16,7	32,6
Нителистнико- во- разнотравное	0,3	1,3	25,9	22,9	50,4	0,7	4,1	11,2	18,8	34,8
Рожконосное едовое	0,5	2,9	29,8	30,2	63,4	0,3	7,9	16,4	15,1	39,7

В холодный период 2003 года (с октября по апрель) в степных сообществах Юго-Восточного Забайкалья растительный опад подвергается незначительной деструкции. Скорость разложения растительного материала в это время составила 0,2-0,5 мг/сут. В весенний и летний (первая половина лета) периоды интенсивность деструкционных процессов повышается. За три месяца (апрель-июль) масса образцов уменьшилась на 0,650-0,934%, что в сутки составило 1,3-2,9 мг. Во второй половине лета (июль-август) скорость деструкции растительного опада составила 21,1-29,8 мг/сут. В ранне-осенний период (с августа по октябрь) наблюдается резкое увеличение интенсивности разложения растительного опада. Скорость деструкции растительного опада составила 20,9-30,2 мг/сут.

### **5.7. Влияние абиотических факторов окружающей среды на скорость микробиологической деструкции целлюлозы и белка**

С целью оценки влияния экологических факторов окружающей среды на ферментативную активность микроорганизмов исследовали разложение модельных субстратов (целлюлозы и белка) в изученных степных сообществах.

Интенсивность разложения целлюлозы и белка микроорганизмами колеблется в зависимости от времени года. Незначительная деструкция модельных субстратов в холодный период (октябрь-апрель 2003г.) свидетельствует о низкой целлюлазной и протеазной активности микроорганизмов. За этот период разлагается 0,08-0,14% целлюлозы, что составляет 0,0007-0,001 мг/сут. Скорость разложения белка составила 0,003-0,008 мг/сут. Среднее значение температуры в этот период  $-7,2^{\circ}\text{C}$ , количество осадков - 6,3% от годовой суммы осадков.

В весенний и ранне-летний периоды активность микроорганизмов значительно возрастает. За 2 месяца (апрель-июль 2003г.) масса целлюлозы уменьшилась на 0,26-1,46%, а белка - на 3,51-6,93%, что в сутки составило 0,004-0,019 мг., 0,126-0,248 мг. соответственно. Средняя температура воздуха и количество осадков составили  $8,77^{\circ}\text{C}$  и 26,6 мм. соответственно.

По гидротермическим условиям вторая половина лета и ранняя осень (июль-август 2003г.) являются наиболее благоприятными для деятельности микроорганизмов-деструкторов. Скорость разложения целлюлозы и белка составила 0,815-1,129 мг/сут. и 3,038-6,711 мг/сут. соответственно.

#### **Выводы**

1. Биологическая продуктивность фитомассы степных растительных сообществ Юго-Восточного Забайкалья в разные годы исследования колеблется от 11,2 до 42,2 ц/га и, данные сообщества характеризуются как очень мало продуктивные. Надземная фитомасса сообществ составляет 1,1-2,4 ц/га, а подземная 22,3-39,4 ц/га (90,8-93,3% от общего запаса фитомассы), что свидетельствует о жестких условиях (дефицит влаги) функционирования степных сообществ.

2. Степные растительные сообщества характеризуются высоким содержанием лигнина (25,6-34,2% от сухого вещества) и целлюлозы (23,5-26,9% от сухого вещества), а также азота, кальция, натрия, калия. Общее количество макроэлементов (Ca, Na, K, Mg, P, Fe, Mn) и микроэлементов (Zn, Cu, Cr, Co, Cd), вовлеченных в биологический круговорот в исследуемых сообществах, составляет от 15,7 кг/га до 77,3 кг/га.

3. Основными деструкторами растительного опада являются грибы, актиномицеты и различные физиологические группы аэробных и факультативно-анаэробных бактерий. Наиболее распространенными из них являются аэробные и факультативно-анаэробные протеолитики,

амилолитики, глюколитики; количество их достигает  $10^2$ - $10^7$  кл/г. Численность грибов и актиномицетов составила  $10^3$ - $10^5$  КОЕ/г и  $10$ - $10^4$  КОЕ/г соответственно.

4. Определение ферментативной активности микроорганизмов зеленой фитомассы, растительного опада, корней и почвы показало, что наибольшая целлюлазная и протеазная активности наблюдаются в растительном опаде исследуемых фитоценозов и составляют 0,007-0,21 ед. и 0,21-0,29 ед. соответственно.

5. По интенсивности разложения растительного опада (с 2003 по 2004 гг.) исследуемые растительные сообщества образуют следующий ряд: рожконосносведовое > нителестниково-разнотравное > ковыльно-типчачково-пястилистниковое. Наиболее высокая скорость деструкции растительного опада, равная 63,4 мг в сутки, наблюдается в рожконосносведовом сообществе, что связано со значительным количеством водорастворимых органических веществ и зольных элементов.

6. Процесс деструкции в значительной мере зависит от оптимального соотношения температуры воздуха и количества осадков. Наиболее благоприятными для деятельности микроорганизмов по гидротермическим показателям являются летний (вторая половина лета) и ранне-осенний периоды. В это время отмечена наибольшая скорость разложения целлюлозы и белка, которая составила в летний период для целлюлозы 0,82-1,13 мг/сут., для белка - 3,04-6,71 мг/сут., а в ранне-осенний период 1,25-1,66 мг/сут. и 3,57-9,86 мг/сут. соответственно.

#### **Список работ, опубликованных по материалам диссертации.**

1. Санданова И.Б. Продуктивность и видовой состав степных растительных сообществ Юго-Восточного Забайкалья/ И.Б. Санданова// Экология Южной Сибири и сопредельных территорий: материалы VII Международной научной школы-конференции студентов и молодых ученых: Сб. науч. трудов. Т.1.– Красноярск, 2003. – С. 147.

2. Санданова И.Б. Роль микроорганизмов в деструкции органического вещества растительного опада степной зоны Юго-Восточного Забайкалья/ И.Б. Санданова, Л.Б.Буянтуева// Биология – наука XXI века: 8-я Пушинская школа-конференция молодых ученых: Сб. тезисов. - Пушино, 2004. – С. 160-161.

3. Санданова И.Б. Степные растительные сообщества Юго-Восточного Забайкалья/ И.Б. Санданова, Л.Б. Буянтуева, Б.Б. Намсараев// Проблемы образования, науки и воспитания студентов в аграрных учебных заведениях: материалы международной конференции. Т.2. – Чита, 2004. – С. 170-174.

4. Санданова И.Б. Степная флора Юго-Восточного Забайкалья/ И.Б. Санданова, Л.Б. Буянтуева, Б.Б. Намсараев// Дни науки – 2005: материалы междуна. науч.-практич. конф. Биология. Т. 1. - Днепропетровск, 2005. - С. 3-6.

5. Санданова И.Б. Ферментативная активность микроорганизмов степных биогеоценозов Юго-Восточного Забайкалья/ И.Б. Санданова// Аспирант и

соискатель. Журнал актуальной научной информации – Москва, 2006. – №.4. – С. 206-207.

6. Санданова И.Б. Характеристика органического вещества и элементного состава растительного опада в степных сообществах Юго-Восточного Забайкалья/ И.Б. Санданова, Л.Б. Буянтуева// Биоразнообразие экосистем Внутренней Азии: материалы Всероссийской конференции с международным участием. Т.1. - Улан-Удэ, 2006. - С. 66-67.

7. Санданова И.Б. Ферментативная активность микроорганизмов степных биогеоценозов Юго-Восточного Забайкалья/ И.Б. Санданова, Л.Б. Буянтуева// Биоразнообразие экосистем Внутренней Азии: материалы Всероссийской конференции с международным участием. Т.2.- Улан-Удэ, 2006. – С. 76-77.

8. Санданова И.Б. Целлюлазная активность микроорганизмов-деструкторов растительного опада степных фитоценозов Юго-Восточного Забайкалья/ И.Б. Санданова, Л.Б. Буянтуева// Перспективные разработки науки и техники – 2006: материалы II Международной научно-практической конференции. Т.6. - Днепропетровск, 2006. – С. 10-13.

9. Санданова И.Б. Продуктивность некоторых степных сообществ Юго-Восточного Забайкалья/ И.Б. Санданова, Д.В. Санданов// Вестник БГУ. Серия 2. Биология. – Вып. 9. - Улан-Удэ, 2006. – С.107-112.

10. Санданова И.Б. Влияние факторов окружающей среды на ферментативную активность микроорганизмов-деструкторов растительного опада/ И.Б. Санданова, Л.Б. Буянтуева// Вестник БГУ. Серия 2. Биология. - Вып. 9 - Улан-Удэ, 2006. – С. 123-129.

11. Санданова И.Б. Биоразнообразие микроорганизмов-деструкторов растительного опада в степных сообществах Юго-Восточного Забайкалья/ И.Б. Санданова, Д.Б. Балданова, Л.Б. Буянтуева// Экология в современном мире: взгляд научной молодежи: материалы всероссийской конференции молодых ученых. – Улан-Удэ, 2007. – С. 100-102.

Подписано в печать 11. 04. 2007 г. Формат 60x84 1/16.

Тираж 100 экз. Усл. печ. л. 1,16. Заказ № 2054

Издательство Бурятского государственного университета  
670000, г. Улан-Удэ, ул. Смолина, 24а.