

УДК 631.427.22 (470.22)

## **МИКРОФЛОРА ПОЧВ ЗАПОВЕДНИКА «КИВАЧ»**

**Н. И. ГЕРМАНОВА, М. В. МЕДВЕДЕВА**

*Институт леса Карельского научного центра РАН*

Обобщены результаты многолетних исследований биологической активности почв заповедника «Кивач». Показаны особенности микробально-биохимических свойств почв, развивающихся в различных фитоценотических условиях зоны средней тайги Карелии. Дана характеристика микробального комплекса диагностики продукционной способности почв.

**N. I. GERMANOVA, M. V. MEDVEDEVA. SOIL MICROFLORA OF THE «KIVACH» NATURE RESERVE**

Results of years of studies of the biological activity in soils of the «Kivach» strict nature reserve are summarized. Distinctive microbial-biochemical properties of the soils developing in different plant coenoses in the middle taiga of Karelia are described. The microbial complex used to diagnose the productive capacity of soils is characterized.

**Ключевые слова:** лесные почвы, биологическая активность почв, микробоценозы, ферментативная активность почв.

---

Трансформацию органического вещества в формировании почвенного плодородия необходимо рассматривать в тесной генетической взаимосвязи с жизнедеятельностью микроорганизмов, являющихся основой почвенной биодинамики (Якушевская, 1973; Мишустин, 1975; Смагин, 1996). Изучение биологических процессов трансформации органического вещества в почве приобретает большое значение в настоящее время в связи с возрастанием уровня антропогенного воздействия на природные экосистемы. К резкому нарушению экологической обстановки и изменению состава и функциональной активности почвенных микроорганизмов приводят как лесохозяйственные мероприятия, проводимые в больших объемах в Карелии, так и аэротехногенное загрязнение почв. Исследования в заповеднике «Кивач», разнообразие почв которого и их комбинации достаточно полно отражают специфику микробиоты подзоны средней тайги Карелии, всегда были актуальны. Сравнительная характеристика микробоценозов почв антропогенно нарушенных биогеоценозов с их природ-

ными аналогами позволяет выявить негативные изменения в педосфере, планировать всевозможные предупредительные лесохозяйственные мероприятия. Это неотъемлемая часть прогностического мониторинга почв, находящихся в условиях антропогенного воздействия (Brock, 1971; Perry, Staley, 1997).

Своеобразие экологических условий для развития микроорганизмов в лесной зоне связано с недостатком тепла, затрудненной аэрацией в торфяно-болотных почвах, в подзолистых – с низкой насыщенностью почв основаниями и малой зольностью поступающего на почву субстрата. В лесных почвах средней тайги есть все основные эколого-трофические группы микроорганизмов, но микробные группировки отличаются малым видовым разнообразием, преобладанием олиготрофных форм и эпизодической встречаемостью отдельных представителей микробиоты. В почвенном биогенезе основную роль играют микробные сообщества, связанные своей жизнедеятельностью с превращением азота. Функции целлюлозоразложения находятся в состоянии

затяжной депрессии, почвы характеризуются замедленным круговоротом углерода. Жизнедеятельность микробных сообществ подзолистых почв в изучаемом районе в основном связана с преобразованием легкодоступных фракций опада и разлагающегося субстрата, в результате происходит накопление больших количеств полуразложившихся остатков в виде стратифицированных лесных подстилок.

Микрофлора подзолистых почв заповедника «Кивач» изучается с конца 50-х годов прошлого столетия по сегодняшний день, весь период исследований можно условно разделить на три этапа. На первом этапе впервые для южной Карелии дается количественная характеристика микробиоты и ферментативной активности почв в сосновом, еловом и березовом насаждениях (Кацнельсон, Ершов, 1957; Ершов, 1962; Тягны-Рядно и др., 1962). Выявляются доминирующие группы почвенных микроорганизмов в каждой формации, и обращается внимание на взаимосвязь биологической активности почв с плодородием.

Работы по изучению биологической активности почв в заповеднике «Кивач» после большого перерыва возобновляются лишь в 1985 г. группой сотрудников Института леса под руководством Л. М. Загуральской в связи с организацией здесь комплексных стационарных исследований структурно-функциональной организации лесных биогеоценозов среднетаежной подзоны Карелии.

На этом этапе особое внимание уделяется оценке роли микроорганизмов в функционировании лесных экосистем, регуляторному влиянию микробных метаболитов на процессы почвообразования и лесорастительные свойства естественных и нарушенных антропогенным воздействием почв. Изучаются закономерности изменения структуры микробных сообществ и биохимического состава органического вещества, интенсивность его преобразования в зависимости от типа леса, экологических и антропогенных факторов (Загуральская, 1993). Полученные микробиально-биохимические показатели используются при диагностике биологического состояния почвы в аборигенных экосистемах и оценке лесохозяйственных мероприятий – в антропогенных.

Третий этап (начало XXI в.) характеризуется как этап обобщения полученных данных, углуб-

ленного изучения функциональных проявлений почвенной микробиоты и микробиологических механизмов подзолообразования. Параллельно ведется поиск индикаторных групп микроорганизмов, которые могут быть использованы при мониторинговых исследованиях природной среды, что важно для решения важнейшей проблемы современности – нормирования антропогенного воздействия на почвы. В работе используются разнообразные методы и приемы, принятые в современной микробиологической практике (Методы..., 1991).

В результате многолетних исследований составлено целостное представление о структуре и функциональной активности микрофлоры подзолистых почв заповедника «Кивач», разработаны региональные оценочные шкалы степени обогатченности почв микроорганизмами и ферментами, дана микробиологическая оценка плодородия почв в основных типах леса средней тайги Карелии (Федорец и др., 2000).

Полученные данные свидетельствуют о том, что сложившийся тип увлажнения почв, от которого зависят окислительно-восстановительные условия, является одним из факторов, определяющих характер и направленность процесса трансформации органического вещества в разных биотопах (табл. 1). Установлено, что в различных типах леса формируются своеобразные по численности, составу и биохимической активности ценозы микроорганизмов (табл. 2). Так, в сосновых насаждениях среднетаежной подзоны блок прокариотных микроорганизмов (бактерий и актиномицетов) увеличивается при переходе от лишайниковых и брусничных к черничному типу леса, практически во всех вариантах доминируют олигонитрофилы. Почвы сосновых насаждений характеризуются как бедные и очень бедные бактериями и актиномицетами и среднеобогатченными и богатыми микроскопическими грибами. В высокопродуктивных сосновых лесах черничного типа (1–2 классов бонитета) зафиксировано относительно высокое содержание актиномицетов, встречающихся в почвах с активной трансформацией органического вещества.

Почвы еловой и березовой формаций обладают большим пулом почвенных микроорганизмов, почва ельника характеризуется как среднеобогатченная и богатая микроорганизмами, березняка – богатая и очень богатая

Таблица 1. Шкалы для оценки степени обогатченности ЭКТГМ почв подзоны средней тайги Карелии, слой 0–10 (15) см (на примере заповедника «Кивач»)

| Степень обогатченности почв | Аммонификаторы (Ам) | Усваивающие минеральные формы азота (Ум)<br>млн/г | Олигонитрофилы (Олн) | Олиготрофы (Олт) | Целлюлозоразрушающие (Цр) | Микромицеты (М) | Актиномицеты (Ак) |
|-----------------------------|---------------------|---|----------------------|------------------|---------------------------|-----------------|-------------------|
|                             |                     |   |                      |                  |                           |                 |                   |
| 1. Очень бедная             | <2                  | <1  | <1                   | <1               | <5                        | <100            | <100              |
| 2. Бедная                   | 2–4                 | 1–3   | 1–3                  | 1–3              | 5–10                      | 100–200         | 100–200           |
| 3. Средняя                  | 4–8                 | 3–9   | 3–9                  | 3–9              | 10–20                     | 200–400         | 200–400           |
| 4. Богатая                  | 8–16                | 9–27  | 9–27                 | 9–27             | 20–40                     | 400–800         | 400–800           |
| 5. Очень богатая            | >16                 | >27   | >27                  | >27              | >40                       | >800            | >800              |

Таблица 2. Соотношение численности основных эколого-трофических групп микроорганизмов в почвах заповедника «Кивач» (горизонты: А0 + А2)

| Тип леса               | Оценка в баллах |                              |                |            |                      |             |              | Диагностические системы «Тест-объект»    |
|------------------------|-----------------|------------------------------|----------------|------------|----------------------|-------------|--------------|--|
|                        | Аммонификаторы  | Усваивающие минеральный азот | Олигонитрофилы | Олиготрофы | Целлюлозоразрушающие | Микромицеты | Актиномицеты |  |
| Сосняки лишайниковые   | 1               | 2                            | 2              | 1          | 4                    | 3           | 0            | Ам(1)Ум(2)Олн(2)Олт(1)Цр(4)М(3)Ак(0)     |
| Сосняки брусничные     | 1               | 2                            | 2-3            | 1          | 2-3                  | 4           | 1            | Ам(1)Ум(2)Олн(2-3)Олт(1)Цр(2-3)М(4)Ак(1) |
| Сосняки черничные      | 2-3             | 3                            | 3              | 2          | 2                    | 4           | 2-3          | Ам(2-3)Ум(3)Олн(3)Олт(2)Цр(2)М(4)Ак(2-3) |
| Ельники черничные      | 3               | 3                            | 3              | 4          | 4                    | 3           | 2            | Ам(3)Ум(3)Олн(3)Олт(4)Цр(4)М(3)Ак(2)     |
| Березняки разнотравные | 4               | 5                            | 5              | 4          | 4                    | 4           | 5            | Ам(4)Ум(5)Олн(5)Олт(4)Цр(4)М(4)Ак(5)     |

бактериями, актиномицетами и микромицетами. Сравнение подтипов почв и их родовой принадлежности с распределением основных эколого-трофических групп микроорганизмов (ЭКТГМ) указывает на сопряженное изменение микробиологических и почвообразующих факторов. В рассматриваемом ряду типов леса структура сообщества представлена практически одинаковыми трофическими и таксономическими единицами с характерным для каждого биотопа уровнем численности микробиоты.

В качестве ознакомительного индикатора в почвах подзоны средней тайги выступает структура микробного сообщества, в котором главенствующая роль принадлежит олигонитрофилам и актиномицетам, чьи жизненные функции связаны с усвоением молекулярного азота и трансформацией труднодоступных субстратов (Медведева, Мошкина, 2004).

Биомасса бактерий в почвах заповедника составляет 0,1–3,5% от запаса подстилки и постепенно нарастает пропорционально трофности почвы от 3 до 230 кг/га. Продукционная способность микробной биоты в элювиально-

поверхностно-глееватой глинистой почве в 9–17 раз выше, чем в поверхностно-подзолистой.

Для оценки уровня микробиологического разложения органического вещества исследуется активность ряда ферментов, которая в значительной степени является результатом химической деятельности микробной биоты (табл. 3, 4). Ферментативная активность почв в природных условиях ограничивается малым количеством доступного субстрата в результате слабой растворимости почвенного органического вещества (Тарено, 1988). Пул почвенных энзимов в сосновых лесах характеризует эти почвы как бедные и среднеобогатенные гидролазами азота и оксидоредуктазами, почвы ельников и березняков попадают преимущественно в разряд богатых окислительно-восстановительными и гидролитическими ферментами, расщепляющими соединения азота и углерода. В сосновых насаждениях наблюдается тенденция снижения активности исследуемой группы ферментов в брусничных типах и увеличения – в черничных.

Таблица 3. Шкалы оценки степени обогатенности ферментами органогенного горизонта в подзолистых почвах заповедника «Кивач»

| Степень обогатенности подстилки | Оценка в баллах | Протеаза, мг аминного азота/г за 24 ч | Уреаза, мг аммиачного азота/г за 24 ч | Целлюлаза, мг глюкозы/г за 10 сут. | Инвертаза, мг глюкозы/г за 24 ч | Каталаза, O <sub>2</sub> см <sup>3</sup> /г за 5 мин | Дегидрогеназа, мг формазана/г за 24 ч |
|---------------------------------|-----------------|---------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|--|---------------------------------------|
| 1. Очень бедная                 | <1              | <0,7                                  | <3,0                                  | <34,5                              | <188                            | <12,6  | <0,64                                 |
| 2. Бедная                       | 2               | 0,8–1,9                               | 3,1–9,6                               | 34,6–45,7                          | 189–200                         | 12,7–20,2  | 0,65–1,47                             |
| 3. Средняя                      | 3               | 2,0–3,1                               | 9,7–16,2                              | 45,8–56,9                          | 201–212                         | 23,3–33,8  | 1,48–2,30                             |
| 4. Богатая                      | 4               | 3,2–4,3                               | 16,3–22,8                             | 60,0–71,1                          | 213–224                         | 33,9–44,4  | 2,31–3,13                             |
| 5. Очень богатая                | 5               | >4,4                                  | >22,9                                 | >71,2                              | >225                            | >44,5  | >3,14                                 |

Таблица 4. Соотношение бактериальной биомассы, активности ферментных комплексов и массы лесной подстилки в подзолистых почвах заповедника «Кивач»

| Тип леса                     | Запасы подстилки, т/га | Биомасса бактерий, % | Обогатенность ферментами |                |                   |
|------------------------------|------------------------|----------------------|--------------------------|----------------|-------------------|
|                              |                        |                      | цикла азота              | цикла углерода | оксидоредуктазами |
| % от массы подстилки         |                        |                      |                          |                |                   |
| Сосняк лишайниковый 50 лет   | 12                     | 0,130                | 0,90                     | 31,4           | 3,4               |
| Сосняк брусничный 160 лет    | 20                     | 0,180                | 0,50                     | –              | 3,3               |
| Сосняк брусничный 50 лет     | 21                     | 0,110                | 0,40                     | –              | 1,8               |
| Сосняк черничный 160 лет     | 48                     | 0,440                | 0,90                     | 24,2           | 4,2               |
| Сосняк черничный 50 лет      | 34                     | 0,440                | 1,10                     | 23,6           | 4,7               |
| Ельник черничный 130 лет     | 39                     | 0,920                | 2,30                     | –              | 5,2               |
| Березняк разнотравный 50 лет | 33                     | 3,490                | 2,60                     | 27,3           | 6,1               |

Таблица 5. Интенсивность разложения растительного опада в лесных насаждениях

| Тип леса                     | Масса свежего опада, кг/га | Масса опада через 1 год разложения, кг/га | Убыль массы опада за 1 год |    |
|------------------------------|----------------------------|---|----------------------------|----|
|                              |                            |   | кг/га                      | %  |
| Сосняк черничный 165 лет     | 4122                       | 2750                                      | 1372                       | 33 |
| Сосняк черничный 50 лет      | 3217                       | 2144                                      | 1073                       | 33 |
| Ельник черничный 130 лет     | 3159                       | 1854                                      | 1305                       | 41 |
| Березняк разнотравный 50 лет | 3229                       | 1597                                      | 1632                       | 51 |

Для подзолистых почв средней тайги Карелии, имеющих резкую текстурную дифференциацию, является актуальным рассмотрение протекторной роли органического и органо-минерального вещества по отношению к ферментам, объяснение механизмов их сбалансированной работы и особенностей вертикальной стратификации по профилю почвы. Весьма перспективно для биодиагностики почв и происходящих в них процессов изучение влияния механического состава почв на структуру микробного сообщества и ферментативную активность.

В настоящий момент в связи с концепцией устойчивого развития лесных экосистем логичными становятся исследования кинетики деструкционных процессов органического вещества на уровне элементарных почвенно-биологических процессов, в том числе разложения растительного опада в почвах естественных древостоев (Германова, 2000). Полученные данные дают целостное представление о биогеохимической функции микробиоты, характере и энергии минерализации органического вещества, их взаимосвязи с современными процессами почвообразования (табл. 5).

Установленные экологические закономерности развития микрофлоры и системы микробиологической диагностики почв являются базой для развития теории и практики экологического мониторинга, расширяют возможности биотестирования изменений окружающей среды и служат научной основой для комплексной оценки проведения лесохозяйственных мероприятий в лесах региона.

Несмотря на то что основные направления исследования в ближайшие 10–15 лет прослеживаются четко, научная жизнь может внести свои коррективы (Звягинцев, 2001). И тогда станет актуальным определение содержания нуклеиновых кислот и составление генетического кода почв заповедных территорий.

## Литература

Германова Н. И., 2000. Разложение опада как показатель интенсивности круговорота элементов в

- лесных насаждениях южной Карелии // Лесоведение. № 3. С. 30–35.
- Ершов В. В., 1962. Распространение аммонифицирующих бактерий в почвах основных типа леса заповедника «Кивач» // Тр. Карельского филиала АН СССР. Петрозаводск: Гос. изд-во Карельской АССР. С. 146–154.
- Загуральская Л. М., 1993. Микробная трансформация органического вещества в лесных почвах Карелии. СПб.: Наука. 136 с.
- Звягинцев Д. Г., 2001. Перспективы развития биологии почв // Перспективы развития почвенной биологии. М.: МАКС Пресс. С. 10–22.
- Кацнельсон Р. С., Ершов В. В., 1957. Исследование микрофлоры целинных и окультуренных почв Карельской АССР. 1. Микробиологическая характеристика почв Карельской АССР // Микробиология. Т. 26, вып. 4. С. 468–476.
- Медведева М. В., Мошкина Е. В., 2004. Особенности азотного режима и микробной трансформации в почвах естественных и антропогенно нарушенных биогеоценозов // Тр. междунар. Форума по проблемам науки, техники и образования. Т. 3. М.: Академия наук о Земле. С. 42–45.
- Методы почвенной микробиологии и биохимии, 1991 / Под ред. Д. Г. Звягинцева. М.: МГУ. 304 с.
- Мишустин Е. Н., 1975. Ассоциации почвенных микроорганизмов. М. 106 с.
- Смагин А. В., 1996. Биогеоценологическое направление в почвоведении // Почвоведение. № 3. С. 298–309.
- Тягны-Рядно М. Г., Визир А. П., Ершов В. В., Синьковская Н. А., 1962. Микробоценозы почв основных типов леса заповедника «Кивач» // Тр. Карельского филиала АН СССР. Петрозаводск: Гос. изд-во Карельской АССР. С. 93–113.
- Федорец Н. Г., Морозова Р. М., Синькевич С. М., Загуральская Л. М., 2000. Оценка продуктивности лесных почв Карелии. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН. 193 с.
- Якушевская И. В., 1973. Микроэлементы в природных ландшафтах. М.: Наука. 100 с.
- Brock T. D., 1971. Microbial growth rates in nature // Bacterial. Rev. Vol. 35. P. 39–58.
- Perry Y., Staley J. T., 1997. Microbiology dynamics and diversity. Saunders College Publishong. Fort Wort. London, New York. С. 18–46.
- Tareno M., 1988. Limitations of available substrates for the expression of cellulose and protease activities in soil // Soil Biol. Biochem. Vol. 20, N 1. P. 117–118.