

УДК 631.46:631.48

## БИОМАССА И АКТИВНОСТЬ МИКРООРГАНИЗМОВ В СОВРЕМЕННЫХ ПОГРЕБЕННЫХ КАШТАНОВЫХ ПОЧВАХ НИЖНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

© Е.В. Чернышева, Н.Н. Каширская, А.В. Борисов,  
А.Н. Журавлев, В.А. Демкин

*Ключевые слова:* каштановые почвы; палеопочвы; микробная биомасса; грибной мицелий; целлюлазная активность.

Проведены микробиологические исследования каштановых палеопочв, погребенных под валом Анны Иоанновны (1718–1720 гг.) и их современных аналогов. Установлено, что микробные сообщества погребенных почв отличались от современных по ряду характеристик: содержанию активной микробной биомассы, биомассе микроскопических грибов, структуре грибного мицелия и целлюлазной активности.

### ВВЕДЕНИЕ

В последние 10–15 лет было убедительно показано, что различные микробиологические параметры палеопочв грунтовых археологических и исторических памятников могут использоваться в качестве индикаторов динамики голоценового увлажнения климата. К важнейшим индикаторным свойствам микробных сообществ относятся их биомасса, структура и активность [1]. Так, например, количественные характеристики состояния микробных сообществ дают основания говорить о смене сравнительно влажных климатических условий засушливыми [1]. Показано, что биомасса микроорганизмов, дающих отклик на внесение глюкозы, в гор. В1 и В2 погребенных почв незначительно отличается от таковой в их современных аналогах [1–2]. Это показатель варьирует в различных горизонтах современных почв в пределах от 10 до 650 мкг С/г почвы. В палеопочвах различных исторических эпох активная микробная биомасса значительно меньше и в различных горизонтах составляет 0,5–40 мкг С/г почвы [2–5].

Что же касается суммарной микробной биомассы палеопочв, то показано, что этот показатель в палеопочвах варьирует в пределах от 500 до 1500 мкг С/г почвы, в современных почвах – значительно выше и составляет 2500–6500 мкг С/г почвы [1, 6].

Сведения же о состоянии микроскопических грибов в погребенных палеопочвах в литературе весьма незначительны. В частности, показано, что палеопочвы содержат комплекс жизнеспособных микроскопических грибов [7–8], причем их число может превышать аналогичные значения для современных почв [9]. Результаты исследования почв археологических памятников выявили, что в подкуранных палеопочвах степной зоны сохраняется грибной мицелий на уровне 40–50 % от его содержания в современных аналогах [10].

В то же время практически отсутствуют сведения о состоянии микроорганизмов в сравнительно молодых палеопочвах, время пребывания которых в погребенном состоянии не превышает несколько сотен лет. Поэтому известный интерес представляют целинные почвы нового времени (XVI–XIX вв.), погребенные под

грунтовыми насыпями. К таким объектам относятся фортификационные сооружения Русского государства, для которых точно известно время строительства.

В связи с этим *цель работы* заключалась в изучении состояния микроорганизмов в погребенных и современных почвах сухостепной зоны Нижнего Поволжья.

### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Район исследований расположен в южной части Приволжской возвышенности (Волгоградская область). В природном отношении исследуемый участок находится в пределах сухостепной почвенно-географической зоны.

Климат региона умеренно континентальный. Среднегодовое количество осадков составляет 350–400 мм. Сумма температур воздуха выше 10 °С для рассматриваемой части Приволжской возвышенности составляет 2900–3100 °С [11].

Почвенный покров характеризуется комплексностью. Основными компонентами, создающими неоднородность почвенного покрова, являются зональные каштановые почвы различной степени засоленности и солонцеватости в сочетании с солонцами, луговыми и темноцветными почвами понижений.

Объектами изучения послужили палеопочвы оборонительного вала Царицынской линии (вала Анны Иоанновны) и современные фоновые почвы. Царицынская укрепленная линия – это военно-инженерный комплекс, созданный в Нижнем Поволжье в 1718–1720 гг. по указу Петра I. Он представлял собой систему оборонительных сооружений от г. Царицына на Волге до Паньшина городка на Дону и перекрывал основной путь вторжения крымских и ногайских татар на земли Русского государства.

Для изучения биомассы микроорганизмов в погребенных и современных почвах вала Анны Иоанновны была заложена траншея, вскрывающая погребенные почвы под валом (разрезы Д-737 и Д-739) и прилегающий участок фоновых каштановых почв (разрезы Д-743, Д-746 и Д-748) разной степени солонцеватости (рис. 1).

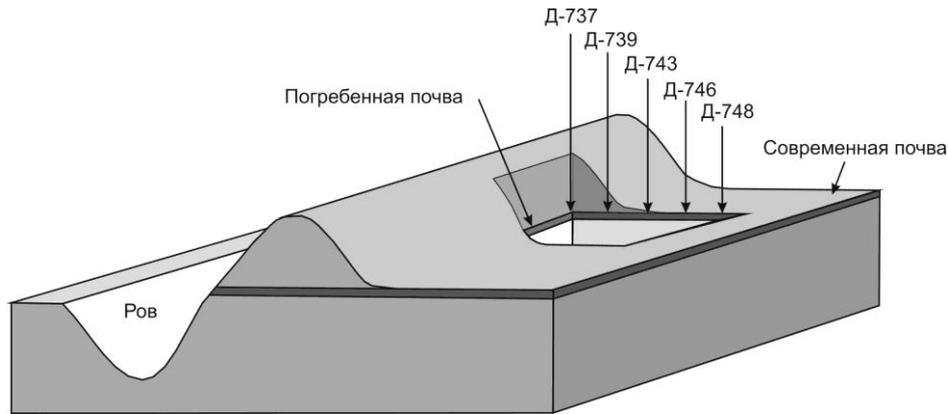


Рис. 1. Схема расположения почвенных разрезов

Погребенные почвы характеризовались среднесуглинистым гранулометрическим составом. Содержание гумуса в гор. А1 1–2 %. Реакция среды по всему профилю слабощелочная. Вскипание отмечалось с глубины 40 см, содержание  $\text{CaCO}_3$  в гор. В2 8–10 %. Для современных почв были характерны следующие признаки: содержание гумуса в гор. А1 2–3 %, гранулометрический состав среднесуглинистый, реакция среды изменялась с глубиной от нейтральной до слабощелочной. Линия вскипания располагалась на глубине 40–45 см, содержание  $\text{CaCO}_3$  в гор. В2 9–12 %. Во всех почвах достаточно хорошо выражена текстурная дифференциация профиля по илу, призматическая структура в гор. В1, грани структурных отдельностей были покрыты органо-глинистыми кутанами. Все это свидетельствует о развитии солонцового процесса.

Отбор образцов почв на микробиологические анализы проводили по генетическим горизонтам с соблюдением условий стерильности [2].

Длину грибного мицелия определяли прямым подсчетом на мембранных фильтрах по методу Хансена в модификации Демкиной и Мирчинк [12]. Биомассу мицелия рассчитывали по длине гиф, принимая средний диаметр гиф равным 4 мкм.

Для определения изменений биомассы и структуры грибного мицелия при инкубировании в условиях повышенной влажности образцы почв увлажняли до 60 % ПВ, переносили в стеклянный стакан, закрывали алюминиевой фольгой и помещали в термостат при температуре 30 °С на 25 дней. После инкубирования измеряли длину гиф в соответствии с вышеописанным методом.

Для изучения целлюлазной активности погребенных и современных почв в чашки Петри помещался слой почвы, увлажненный до 60 % ПВ, поверх которого помещалась стерильная капроновая сетка с ячейками 3×3 мм. На сетку укладывали диск из грубой стерильной льняной ткани, которая также перекрывалась сеткой. Сверху насыпался еще один слой почвы. Чашки помещались в термостат при температуре 30 °С. После 30 дней инкубирования образцы ткани извлекались из чашек, тщательно промывались, помещались в сушильный шкаф и высушивались при температуре 105 °С в течение часа. Целлюлазную активность выражали в процентах и рассчитывали по изменению массы образцов ткани от исходной после инкубирования.

Для определения численности бактерий использовали метод прямой люминесцентной микроскопии с окрашиванием красителем DAPI, позволяющей определять как живые, так и мертвые клетки [8]. Биомассу бактерий рассчитывали по формуле:  $\text{СББ} = N \cdot 2 \cdot 10^{-14} \cdot 0,4x$ , где  $N$  – численность бактерий;  $2 \cdot 10^{-14}$  – вес 1 бактериальной клетки объемом 0,1 мкм<sup>3</sup>; 0,4 – коэффициент пересчета в единицы  $\text{С}_{\text{орг}}$ ;  $x$  – средний объем клетки в современных (0,37 мкм<sup>3</sup>) и палеопочвах (0,28 мкм<sup>3</sup>) с учетом органо-минерального слоя [13].

Биомассу микроорганизмов, дающих респираторный ответ на внесение глюкозы, определяли методом субстрат-индуцированного дыхания и рассчитывали по формуле  $\text{С}_{\text{мик}} (\text{мкг С/г почвы}) = (\text{мкг CO}_2 \text{ сухой почвы в час}) \times 40,04 + 0,37$  [14].

При расчете микробной биомассы содержание углерода и воды в клетках микроорганизмов принимали равным 40 и 80 % соответственно.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

**Биомасса грибного мицелия.** В исследуемых почвах максимальная суммарная биомасса грибного мицелия была отмечена в современной каштановой почве (разрез Д-743), где она составляла 11,3 мкг С/г почвы (среднезвешенная величина для горизонтов А1 + В1 + В2) (рис. 2). Этот разрез расположен в месте перехода

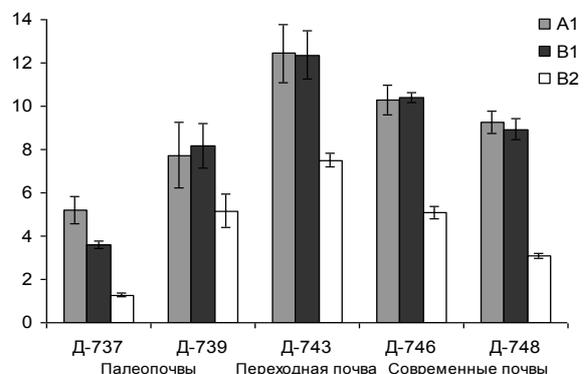


Рис. 2. Суммарная биомасса грибного мицелия в погребенных и современных почвах

насыпи вала к современным почвам. Максимальное содержание мицелия обусловлено тем, что в весенне-летний период здесь складываются условия повышенного увлажнения за счет склонового стока осадков. Биомасса мицелия в гор. А1 и В1 была приблизительно одинаковой, а в гор. В2 отмечалось ее уменьшение.

В современных каштановых почвах (разрезы Д-746 и Д-748) наблюдалось уменьшение содержания грибного мицелия до 7,6 и 9,0 мкг С/г почвы по сравнению с разрезом Д-743. Минимальное содержание грибного мицелия было отмечено в почве, погребенной под насыпью мощностью 90 см (разрез Д-737), где оно составляло 3,3 мкг/г почвы. Это связано с отсутствием поступления органического вещества и влаги в погребенную почву. В почве, погребенной под насыпью мощностью 44 см (разрез Д-739), наблюдалось увеличение содержания грибного мицелия до 7,1 мкг С/г почвы.

**Структура грибного мицелия.** В погребенных почвах в структуре грибного мицелия преобладал темноокрашенный мицелий, т. к. он более устойчив к неблагоприятным условиям [15]. В почве под насыпью мощностью 90 см (разрез Д-737) практически весь мицелий был представлен темноокрашенным, здесь его доля увеличивалась с 70 % в гор. А1 до 100 % в гор. В2. В палеопочве под насыпью высотой 44 см (разрез Д-739) его доля была несколько меньше. В каштановой почве, расположенной в месте перехода насыпи вала (разрез Д-743), доля темноокрашенного мицелия уменьшалась вниз по профилю с 50 % в гор. А1 до 34–39 % в гор. В1 и В2. В современных почвах (разрезы Д-746 и Д-748) доля темноокрашенного мицелия составила 44–51 % в гор. А1, 40–49 % в гор. В1 и 54–67 % в гор. В2.

**Биомасса и структура грибного мицелия до и после инкубирования в условиях повышенной влажности.** После 25 дней инкубирования при температуре 30 °С и влажности 60 % ПВ произошло увеличение биомассы грибного мицелия во всех исследуемых почвах (рис. 3). Увеличение суммарной биомассы произошло, главным образом, за счет увеличения биомассы светлоокрашенного мицелия. Причем прирост биомассы мицелия в погребенной почве был лишь не намного меньше, чем в современной.

При этом в погребенной почве на фоне возрастания общей биомассы грибного мицелия после инкубирования сохранилось характерное распределение суммарной биомассы по горизонтам с убыванием значений этого показателя вниз по профилю. А в современной почве, для которой также было характерно убывание грибной биомассы с глубиной до инкубации, напротив, после инкубации было отмечено максимальное возрастание биомассы мицелия в горизонте В1 (более чем в 2 раза). В то время как в верхнем горизонте суммарная биомасса грибного мицелия возросла лишь на 50–60 %.

Содержание темноокрашенного мицелия после инкубирования изменилось незначительно и варьировало в пределах от 18,8 до 22,8 мкг С/г почвы в гор. А1, от 14,4 до 17,6 мкг С/г почвы в гор. В1 и от 6,4 до 10,4 мкг С/г почвы в гор. В2. После инкубирования в структуре грибного мицелия сократилась доля темноокрашенного мицелия: в погребенной почве – с 70–100 до 44–52 %, а в современной – с 49–67 до 23–33 %.

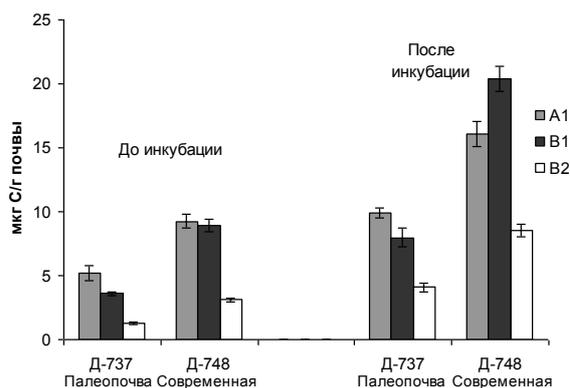


Рис. 3. Биомасса грибного мицелия до и после инкубирования при 60 % ПВ

**Целлюлазная активность в погребенной и современной почвах.** Целлюлазная активность в погребенной и современной почве существенно различалась. Особенно ярко эти различия были выражены в гор. А1. Так, в этом горизонте современной почвы она составила 54 %, тогда как в погребенной – 14 % (рис. 4). Иными словами, за 300 лет пребывания в погребенном состоянии активность целлюлозоразлагающих грибов в гор. А1 снизилась на 75 % относительно современной почвы. В гор. В1 практически не отмечено каких-либо изменений целлюлазной активности (17 и 19 % соответственно), т. е. несмотря на то, что в течение 300 лет в почву не попадала целлюлоза, грибная микрофлора в этом горизонте оставалась на том же уровне активности, что и в современной почве. В гор. В2 современной почвы целлюлазная активность составляла 15 %, а в гор. В2 погребенной почвы – 8 %.

**Численность и суммарная биомасса бактерий.** Численность бактерий по данным прямого микроскопирования во всех горизонтах изученных почв регистрировалась на уровне  $10^{11}$  клеток в 1 г почвы и в различных горизонтах варьировала в пределах от 0,28 до  $0,53 \cdot 10^{11}$  клеток в 1 г почвы.

С использованием показателя численности микробных клеток, а также пересчетной величины  $2 \cdot 10^{-14}$  г сухого веса на микробную клетку объемом 0,1 мкм<sup>3</sup> [16–17] была рассчитана суммарная биомасса бактерий.

В погребенных и современных почвах не было выявлено существенных различий по суммарной биомассе бактерий. Значения этого показателя в изученных почвах варьировали в пределах от 300 до 415 мкг С/г почвы (средневзвешенная величина для горизонтов А1 + В1 + В2). Максимальное количество бактерий наблюдалось в современной почве, удаленной на 6 м от границы насыпи вала (разрез Д-748). В каштановой почве, расположенной в месте перехода насыпи вала к современным почвам (разрез Д-743), и в современной почве, удаленной на 3 м от границы насыпи (разрез Д-746), суммарная биомасса бактерий составляла около 350 мкг С/г почвы. Минимальные значения этого показателя были характерны для палеопочвы, погребенной под насыпью высотой 90 см (разрез Д-737). В почве, погребенной под насыпью 44 см (разрез Д-739), суммарная биомасса бактерий составляла 370 мкг С/г почвы.

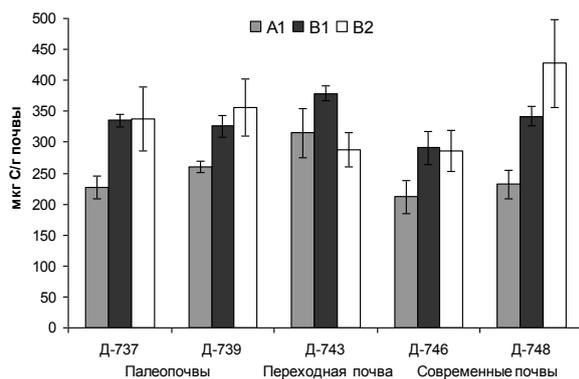


Рис. 4. Суммарная биомасса бактерий в погребенных и современных почвах

Для всех изученных почв было характерно увеличение содержания бактерий вниз по профилю (рис. 4). Исключение составила лишь переходная каштановая почва (разрез Д-743), в которой происходило уменьшение количества бактерий в гор. В2. В гор. А1 максимальная суммарная биомасса бактерий наблюдалась в переходной каштановой почве, где она составила 315 мкг С/г почвы. В погребенных и современных почвах значения этого показателя варьировали в пределах от 211 до 260 мкг С/г почвы. В гор. В1 суммарная биомасса бактерий варьировала в пределах от 291 до 379 мкг С/г почвы, а максимальными значениями этого показателя также характеризовалась переходная каштановая почва. В гор. В2 содержание бактерий было приблизительно равным таковому в гор. В1. Исключение составила почва, расположенная в месте перехода насыпи вала к современным почвам, где произошло уменьшение суммарной биомассы бактерий с 378 до 287 мкг С/г почвы.

**Биомасса микроорганизмов, дающих отклик на внесение глюкозы.** Биомасса микроорганизмов, дающих отклик на внесение глюкозы в палеопочвах, была значительно меньше, чем в современных (рис. 5). В палеопочве, погребенной под насыпью высотой 90 см (разрез Д-737), этот показатель не превышал 10 мкг С/г почвы в гор. А1, достигая минимальных значений в гор. В1. Средневзвешенное содержание бактерий здесь составило 6 мкг С/г почвы. В почве, погребенной под насыпью 44 см (разрез Д-739), активная микробная биомасса была несколько выше и составляла 18 мкг С/г почвы. В почве, расположенной в месте перехода насыпи вала к современным почвам (разрез Д-743), биомасса микроорганизмов, дающих отклик на внесение глюкозы, составляла 32 мкг С/г почвы. Динамика активной микробной биомассы по профилю была аналогична таковой в палеопочве разреза Д-739. Однако здесь произошло более резкое уменьшение количества микроорганизмов вниз по профилю, активная микробная биомасса в гор. А1 была в 3 раза больше, чем в гор. В1. В современных почвах произошло резкое увеличение биомассы микроорганизмов, дающих отклик на внесение глюкозы до 127 и 131 мкг С/г почвы в почвах разрезов Д-746 и Д-748 соответственно. Увеличение активной микробной биомассы произошло за счет ее увеличения в гор. А1, тогда как в гор. В1 и В2 она была сопоставима с таковой в погребенных почвах.

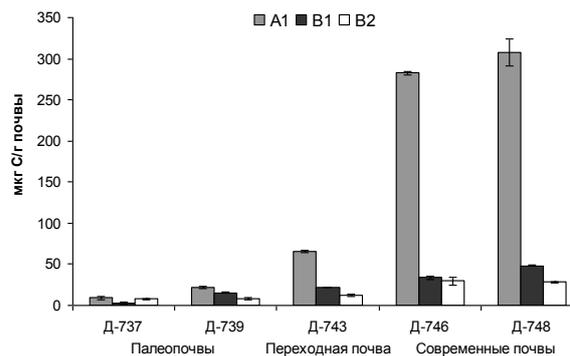


Рис. 5. Биомасса микроорганизмов, дающих отклик на внесение глюкозы в погребенных и современных почвах

## ВЫВОДЫ

1. Максимальная биомасса грибного мицелия (средневзвешенная величина для горизонтов А1 + В1 + В2) была выявлена в современной каштановой почве у подножья вала, где она составила 11,3 мкг С/г почвы. В современных почвах биомасса мицелия колебалась в пределах от 7,6 до 9,0 мкг С/г почвы. В палеопочвах величина биомассы изменялась от 3,3 до 7,1 мкг С/г почвы.

2. В структуре мицелия микроскопических грибов погребенных почв преобладали темноокрашенные гифы (70–100 %). В современных почвах этот показатель варьировал от 50 до 66 %.

3. После 25 дней инкубирования при температуре 30 °С и влажности 60 % ПВ наблюдалось увеличение биомассы грибного мицелия в погребенной почве в 2,1, а в современной почве – в 2,7 раза. При этом в структуре грибного мицелия резко возрастала доля светлоокрашенных гиф.

4. Целлюлазная активность в погребенной и современной почвах существенно различалась лишь в гор. А1, где она составляла 54 %, в то время как в погребенной почве 14 %.

5. Значения суммарной биомассы бактерий существенно не различались в погребенных и современных почвах и варьировали в пределах от 300 до 415 мкг С/г почвы. Максимальное количество бактерий отмечалось в современной каштановой почве, удаленной на 6 м от границы насыпи вала, минимальное – в палеопочве, погребенной под насыпью высотой 90 см.

6. Максимальная биомасса микроорганизмов, дающих отклик на внесение глюкозы, была выявлена в современных каштановых почвах, где она составляла 127–131 мкг С/г почвы. В палеопочвах значения этого показателя не превышали 18 мкг С/г почвы. В почве, расположенной в месте перехода насыпи вала к современным почвам, величина активной микробной биомассы составила 32 мкг С/г почвы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Демкина Т.С., Хомутова Т.Э., Каширская Н.Н., Стретович И.В., Демкин В.А. Характеристика микробных сообществ подкурганых палеопочв сарматского времени (I–IV вв. н.э.) // Почвоведение. 2009. № 7. С. 836–846.
2. Демкина Т.С., Борисов А.В., Демкин В.А. Микробные сообщества палеопочв археологических памятников пустынно-степной зоны // Почвоведение. 2000. № 9. С. 1117–1126.

3. Демкина Т.С., Борисов А.В., Демкин В.А. Микробиологические исследования подкурганых палеопочв пустынно-степной зоны Волго-Донского междуречья // Почвоведение. 2004. № 7. С. 853-860.
4. Демкина Т.С., Стретович И.В., Демкин В.А. Пространственная изменчивость микробных сообществ современных и погребенных почв в бассейне р. Сакарка (Приволжская возвышенность) // Почвоведение. 2010. № 5. С. 621-631.
5. Демкина Т.С., Борисов А.В., Демкин В.А. Продуцирование CO<sub>2</sub> современными и погребенными почвами степной зоны в нативном и увлажненном состоянии // Почвоведение. 2010. № 9. С. 1108-1113.
6. Каширская Н.Н., Хомутова Т.Э., Демкина Т.С., Демкин В.А. Микробная биомасса подкурганых и современных почв степной зоны Нижнего Поволжья // Почвоведение. 2009. № 5. С. 581-587.
7. Марфенина О.Е., Иванова А.Е., Кислова Е.Е., Зазовская Э.П., Чернов И.Ю. Грибные сообщества почв раннесредневековых поселений таежно-лесной зоны // Почвоведение. 2008. № 7. С. 850-860.
8. Марфенина О.Е., Сахаров Д.С., Иванова А.Е., Русаков А.В. Микробиологические свойства голоценовых и позднплейстоценовых палеогоризонтов и фрагментов палеопочв // Почвоведение. 2009. № 4. С. 469-478.
9. Иванова А.Е., Марфенина О.Е., Кислова Е.Е., Зазовская Э.П. Микробиологические характеристики культурного слоя средневекового поселения на дерново-карбонатных почвах // Почвоведение. 2006. № 1. С. 62-71.
10. Демкина Т.С., Хомутова Т.Э., Каширская Н.Н., Стретович И.В., Демкин В.А. Микробиологические исследования палеопочв археологических памятников степной зоны // Почвоведение. 2010. № 2. С. 213-220.
11. Агроклиматический справочник по Волгоградской области. Л.: Гидрометеорологическое изд-во, 1967. 143 с.
12. Звягинцев Д.Г., Асеева И.В., Бабьева И.П., Мирчик Т.Г. Методы почвенной микробиологии и биохимии. М.: Изд-во МГУ, 1980. 224 с.
13. Каширская Н.Н., Хомутова Т.Э., Дмитриев В.В., Дуда В.И., Демкин В.А. Морфология клеток и биомасса микроорганизмов подкурганых и современных степных почв Нижнего Поволжья // Почвоведение. 2010. № 10. С. 1229-1238.
14. Anderson J.P.E., Domsch K.H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soil // Soil Biol. Biochem. 1978. V. 10. № 3. P. 215-221.
15. Мирчик Т.Г. Почвенная микология: учебник. М.: Изд-во МГУ, 1988. 222 с.
16. Кожевин П.А., Полянская Л.М., Звягинцев Д.Г. Динамика развития различных микроорганизмов в почве // Микробиология. 1979. Т. 48. Вып. 3. С. 490-494.
17. Полянская Л.М., Звягинцев Д.Г. Содержание и структура микробной биомассы как показатель экологического состояния почв // Почвоведение. 2005. № 6. С. 706-714.

БЛАГОДАРНОСТИ: Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 12-06-00272) и Программы фундаментальных исследований Президиума РАН.

Поступила в редакцию 20 сентября 2012 г.

Chernysheva E.V., Kashirskaya N.N., Borisov A.V., Zhuravlev A.N., Demkin V.A. BIOMASS AND MICROBIAL ACTIVITY IN MODERN AND BURIED CHESTNUT SOILS OF LOWER VOLGA REGION

Microbiological studies of paleosols buried under the rampart of Anna Ioannovna (1718–1720 years) and their modern analogies have been carried out. It is found that the microbial communities of buried soils are different from modern a number of characteristics: active microbial biomass, biomass of microscopic fungi, the structure of fungal mycelium and cellulase activity.

*Key words:* chestnut soils; paleosols; microbial biomass; fungal mycelium; cellulase activity.

УДК 579.852+622.241

## МИКРОБИОЛОГИЯ ГЛУБОКИХ ГОРИЗОНТОВ ПУЧЕЖ-КАТУНКСКОЙ ИМПАКТНОЙ СТРУКТУРЫ

© Н.В. Шеховцова, К.А. Первушина, Г.В. Кондакова

*Ключевые слова:* глубокие скважины; породы; подземные воды; биомаркеры; углеводородокисляющие бактерии.

По содержанию биомаркеров в липидных профилях геологических проб представлено распределение микроорганизмов в пластовых водах и породах Воротиловского выступа Архейского фундамента и его осадочного чехла в общем интервале глубин 1500–4500 м. Обсуждается возможность существования синтрофной ассоциации между углеводородокисляющими родококками и пептолитическими кластридиями.

Микроорганизмы глубоких горизонтов земной коры в нашей стране стали активно изучаться по инициативе В.И. Вернадского с начала XX в. как индикаторы полезных ископаемых [1]. В 1980-х гг. интерес к подземной микробиологии пережил второе рождение. В странах Запада и США появилась необходимость найти способ очистки глубинных вод, загрязненных углеводородами, что заставило обратить внимание на гетеротрофов [2]. Проникновение деятельности человека вглубь земных недр возродило поиск ответа на вопрос о границе подземной части биосферы. Беспрецедентную возможность для этого дала программа «Изучение

недр Земли и сверхглубокое бурение», начатая в нашей стране еще в 1960-х гг. Часть геологических образцов из глубоких и сверхглубоких скважин была изучена с помощью культуральных и изотопных методов в Институте экологии и генетики микроорганизмов Уральского отделения РАН (г. Пермь) под руководством д.г.-м.н. А.А. Оборина. Значимым результатом этих исследований явилось экспериментальное подтверждение того, что микроорганизмы распространены в земной коре до глубины 6840 м [3]. Однако микробиологические исследования сверхглубоких скважин были фрагментарными, а примеры изучения импактных