

УДК 631.46:631.48:930.26

СОСТОЯНИЕ И ВЕКОВАЯ ДИНАМИКА МИКРОБНЫХ СООБЩЕСТВ ПАЛЕОПОЧВ СТЕПНЫХ КУРГАНОВ ЗА ИСТОРИЧЕСКОЕ ВРЕМЯ

© Т.С. Демкина, Т.Э. Хомутова, Н.Н. Каширская, В.А. Демкин

Ключевые слова: микробные сообщества; палеопочвы; степь; биомасса: суммарная, живая, активная.

Проведены микробиологические исследования палеопочв разновозрастных археологических памятников (Ш тыс. до н. э. – XVIII в. н. э.) на территории сухих степей Нижнего Поволжья. Полученные данные показывают, что в палеопочвах сохраняются микробные сообщества. Их суммарная биомасса составляет 20–105 %, жизнеспособная – 48–142 %, активная – 0,2–36 % от уровня такой же биомассы современных почв. Палеопочвы археологических памятников степной зоны представляют собой уникальный объект, сохранивший информацию о состоянии почвенных микробных сообществ в прошлые исторические эпохи.

ВВЕДЕНИЕ

Проблемы развития и функционирования микроорганизмов в процессе эволюции почв и природной среды за историческое время относятся к числу практически не изученных в современной почвенной микробиологии. Известно, что почвенные микроорганизмы являются неотъемлемой составной частью почвы. Все процессы, протекающие в ней, в той или иной степени связаны с жизнедеятельностью микроорганизмов. Поэтому характеристика микробного сообщества относится к числу важнейших диагностических показателей, отражающих условия почвообразования. Следовательно, характеристики микробных сообществ разновозрастных палеопочв должны отражать экологические условия той или иной геологической или исторической эпохи. В последние десятилетия это особенно убедительно показано на примере изучения вечномерзлых разновозрастных отложений плейстоцена [1–3], где микробный комплекс оказался законсервированным и сохранил исходные свойства. Наряду с этим, работы по микробиологии более молодых палеопочв и осадков голоценового возраста практически отсутствуют. Можно сослаться лишь на единичные данные [4–6], в которых только констатируется наличие живых микроорганизмов в палеопочвах и отмечается их существенно меньшая численность по сравнению с современными фоновыми почвами. В связи с этим возникают чрезвычайно важные, но практически не изученные в почвенной микробиологии вопросы. Каково ныне состояние микробных сообществ в разновозрастных подкурганных почвах? Насколько адекватно оно отражает палеоэкологические условия прошлых исторических эпох? Поэтому *цель* настоящей работы заключается в рассмотрении состояния микробных сообществ палеопочв, погребенных под разновозрастными археологическими памятниками степной зоны в сравнении с современными почвами и закономерностей их изменчивости в связи с эволюцией почв и вековой динамикой климата во второй половине голоцена.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами изучения были палеопочвы, погребенные под курганными насыпями в эпохи бронзы, раннего железа и средневековья (III тыс. до н. э. – XIV в. н. э.) и оборонительным валом Царицынской линии (XVIII в. н. э.), и их современные аналоги в различных природных районах Нижнего Поволжья (Приволжская и Ергенская возвышенности). Объекты находились в сухостепной зоне в ареалах современных каштановых почв и солонцов.

Впервые в практике почвенно-археологических исследований использованы следующие методы: определение суммарной микробной биомассы (**С-МБ**), основанное на выделении микробной фракции из почвы и оценке полноты ее выделения [7]; определение содержания фосфолипидов (**ФЛ**) в почвах [8–9] для сравнительного изучения биомассы живых клеток и углерода активной микробной биомассы (**С-СИД**) [10]; метод мембранных фильтров для прямого учета грибного мицелия [11].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенные ранее микробиологические исследования подкурганных палеопочв сухих и пустынных степей Нижнего Поволжья показали, что в них до настоящего времени сохраняются микробные сообщества, существовавшие во время сооружения археологических памятников. Это подтверждено выявленными закономерностями распределения численности микроорганизмов различных трофических групп в курганных насыпях, погребенных и современных почвах, данными определения возраста микробной фракции с использованием метода ^{14}C атомной масс-спектрометрии [12–13]. Этому способствовали адаптационные механизмы выживания почвенных микробных сообществ (анабиоз, переход бактерий в наноформы и др.) в неблагоприятных экологических условиях [14]. С применением электронной микроскопии установлено, что в гор. А1

подкурганной каштановой почвы 77 % клеток относятся к наноформам (их объемы не превышают $0,09 \text{ мкм}^3$), а в современном аналоге – 63 % [15]. Цитологические исследования искусственно образованных наноклеток позволили предположить, что их формирование представляет универсальную ответную реакцию организма на неблагоприятные условия и стресс-факторы [14].

В разновозрастных погребенных и современных каштановых почвах и солонцах проведено определение суммарной, живой и активной микробной биомассы и выявлены закономерности изменчивости этих показателей в связи с эволюцией почв и динамикой увлажненности климата.

Суммарная микробная биомасса (СМБ) включает максимальное число микробных клеток на разных стадиях их жизненного цикла, в т. ч. некультивируемые формы, мертвые клетки и др. Показано, что в современных каштановых почвах и солонцах Северных Ергеней средневзвешенное значение СМБ (гор. А1, В1, В2) составляет 943 и 1995 мкг С/г почвы; в аналогичных почвах Приволжской возвышенности – 2434–4558 (в разные годы) и 2241 мкг С/г почвы соответственно (рис. 1А). В каштановой палеопочве и палеосолонце Северных Ергеней, погребенных около 2000 лет назад, СМБ составила 879 и 1673 мкг С/г почвы, что незначительно меньше, чем в фоновых аналогах. В каштановой почве Приволжской возвышенности в хроносрезы ~300, ~750, ~1800, ~1950, ~4000, ~4800, и ~5000 лет назад С-МБ изменялась от 930 до 2183 мкг С/г почвы в зависимости от палеоклиматических условий. В солонце Приволжской возвышенности, погребенном под валом Анны Иоанновны ~300 лет назад, СМБ несколько больше таковой современной почвы и составила 2357 мкг С/г почвы (рис. 1Б).

Живую микробную биомассу в почвах оценивали по содержанию фосфолипидов (ФЛ), т. к. они являются обязательным компонентом мембран живых клеток, независимо от их физиологического состояния. В современных каштановых почвах и солонцах Северных Ергеней содержание ФЛ составило 52 и 43 мкг/г почвы (средневзвешенное значение в гор. А1, В1, В2) соответственно. В аналогичных почвах Приволжской возвышенности – 54–197 (в разные годы) и 42 мкг/г почвы. В подкурганных палеопочвах Северных Ергеней, погребенных ~2000 лет назад, содержание ФЛ в каштановой почве и солонце было близким и составило 33 и 31 мкг/г почвы соответственно. В полеокаштановых почвах, погребенных под курганами (~750, ~1800, ~1950, ~4000, ~4800, и ~5000 лет назад) и валом Анны Иоанновны (~300 лет назад), средневзвешенное содержание ФЛ составило 94–174 и 43 мкг/г почвы; в палеосолонце (~300 лет назад) – 60 мкг/г почвы, что больше, чем в современном аналоге (рис. 2).

Активная биомасса представляет собой часть микробного сообщества, клетки которой метаболически активны либо способны переходить в активное состояние при добавлении в почву глюкозы. В современной каштановой почве Приволжской возвышенности средневзвешенное значение (гор. А1, В1, В2) величины активной биомассы (С-СИД) составляет 124–220 (в разные годы) мкг С/г почвы. В погребенных палеопочвах значения этой величины резко снижаются от 44 до 0,4 мкг С/г почвы в различные исторические отрезки времени (рис. 3А).



Рис. 1. Содержание суммарной микробной биомассы в современных (А) и погребенных (Б) почвах (средневзвешенные величины в гор. А1 + В1 + В2): 1 – каштановая почва; 2 – солонец

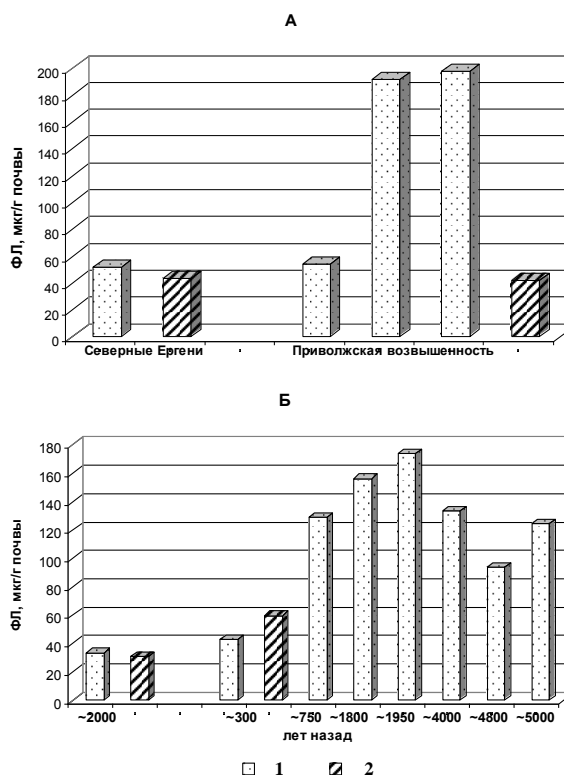


Рис. 2. Содержание живой микробной биомассы в современных (А) и погребенных (Б) почвах (средневзвешенные величины в гор. А1 + В1 + В2): 1 – каштановая почва; 2 – солонец

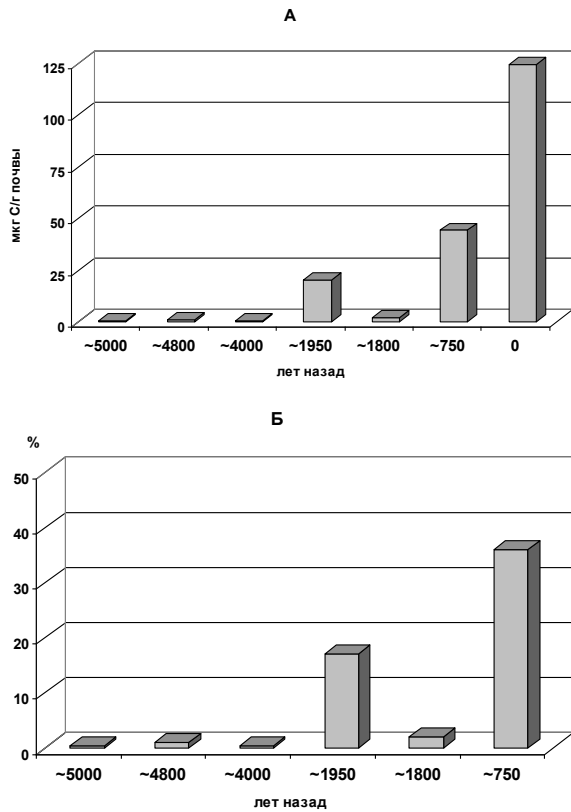


Рис. 3. Активная микробная биомасса в подкурганных и современной каштановых почвах Приволжской возвышенности (А) и ее доля от содержания в современной почве (Б) (средневзвешенные величины в гор. А1 + В1 + В2)

Полученные данные показывают, что в палеопочвах сохраняются микробные сообщества. Их суммарная биомасса составляет 20–93 % от микробной биомассы современных аналогов, в некоторых палеопочвах до 105 %. Во всех почвах присутствует определенный пул жизнеспособных микроорганизмов (оцененный по содержанию фосфолипидов), и он сопоставим с таковым современной почвы (составляет 48–142 % от уровня

современного). Биомасса микроорганизмов в микробном сообществе палеопочв, способных давать отклик на внесение глюкозы, колеблется от ничтожно малых величин (0,2 %) до 20–36 % от уровня современного аналога (рис. 1, 2, 3Б).

При погребении почв микробное сообщество оказывается в нехарактерных для него условиях. При этом значительная его часть, преодолевая стрессовые условия окружающей среды (неблагоприятный гидротермический режим, прекращение поступления растительного опада и т. д.), переходит в покоящееся состояние. Остается открытым вопрос о сохранении мицелия микроскопических грибов в этих условиях и его структуре. Известно, что темноокрашенный мицелий способен обитать в экстремальных условиях. Пигменты типа меланинов определяют устойчивость грибного мицелия против лизиса, высыхания, смягчают воздействие неблагоприятных температурных условий, а также обеспечивают сохранность клеточных структур в процессе длительного углеродного голодания.

Биомасса грибных гиф в современной каштановой почве достигала 72 мкг/г почвы (средневзвешенная величина в гор. А1 + В1 + В2), доля темноокрашенного мицелия составляла 88 %. В погребенных почвах большая биомасса грибного мицелия установлена для почвы эпохи бронзы (~4500 л. н.), где она составила 36 мкг/г почвы. При этом на долю темноокрашенного мицелия приходится 98 %. В палеопочве, погребенной ~2000 л. н., биомасса грибных гиф была несколько меньше (31 мкг/г почвы), в его структуре выявлены только пигментированные гифы (рис. 4).

Следовательно, в подкурганных палеопочвах степной зоны сохраняется грибной мицелий на уровне 43–50 % от его содержания в современных аналогах, в его структуре увеличивается доля темноокрашенного мицелия до 98–100 % как более устойчивого к неблагоприятным условиям обитания.

Изложенные доказательства консервации в подкурганных палеопочвах микробных сообществ прошлых исторических эпох дают основания использовать различные микробиологические параметры в качестве индикаторов динамики климата, в частности, степени его увлажненности.

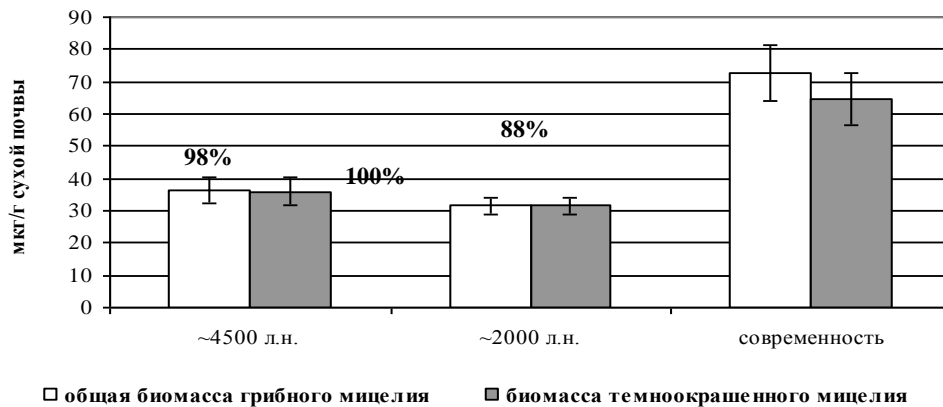


Рис. 4. Содержание (средневзвешенное в гор. А1 + В1 + В2) и структура мицелия микроскопических грибов в подкурганных и современной каштановых почвах (Северные Ергени)

Таким образом, палеопочвы разновозрастных археологических памятников степной зоны представляют собой уникальный объект, своего рода природный архив, сохранивший информацию о состоянии почвенных микробных сообществ в прошлые исторические эпохи, об их вековой динамике в связи с изменчивостью факторов почвообразования.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Звягинцев Д.Г., Гилчичинский Д.А., Благодатский С.А. [и др.]* Длительность сохранения микроорганизмов в постоянно мерзлых осадочных породах и погребенных почвах // *Микробиология*. 1985. Т. 54. № 1. С. 155-161.
2. *Хлебникова Г.М., Гилчичинский Д.А., Федоров-Давыдов Д.Г., Воробьева Е.А.* Количественная оценка микроорганизмов в многолетнемерзлых отложениях и погребенных почвах // *Микробиология*. 1990. Т. 59. № 1. С. 148-155.
3. *Friedmann E.I.* Antarctic microbiology. Willey-Liss, 1993. P. 2420-2423.
4. *Золотун В.П.* Развитие почв юга Украины за последние 50–45 веков: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. Киев, 1974. 74 с.
5. *Крупеников И.А.* Почвенный покров Молдовы: прошлое, настоящее, управление, прогноз. Кишинев: Штиница, 1992. 265 с.
6. *Савостьянова З.А., Нащокин В.Д.* К истории почвенного покрова степной зоны Хакасии // *Почвенные условия выращивания защитных насаждений*. Красноярск, 1974. С. 7-35.
7. *Хомутова Т.Э., Демкина Т.С., Демкин В.А.* Оценка суммарной и активной микробной биомассы разновозрастных подкурганов палеопочв // *Микробиология*. 2004. Т. 73. № 2. С. 241-247.
8. *Findlay R.H.* The use of phospholipids fatty acids to determine microbial community structure // *Molecular Microbial Ecology Manual*. 1996. V. 4.1.4. P. 1-17.
9. *Frostegard A., Tunlid A., Baath E.* Microbial biomass measured as total lipid phosphate in soils of different organic content // *Journal of Microbiological Methods*. 1991. V. 14. P. 151-163.
10. *Anderson J.P.E., Domsch K.H.* A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils // *Soil Biol. Biochem.* 1978. V. 10. № 3. P.215-221.
11. *Демкина Т.С., Мирчик Т.Г.* Определение грибной биомассы в почвах методом мембранных фильтров // *Микология и фитопатология*. 1983. Т. 17. Вып. 6. С. 517- 520.

12. *Демкина Т.С., Борисов А.В., Ельцов М.В., Демкин В.А.* Сравнительная характеристика микробных сообществ курганных насыпей, подкурганов и современных почв степной зоны Нижнего Поволжья // *Почвоведение*. 2007. № 6. С. 738-748.
13. *Demkina T.S., Khomutova T.E., Kashirskaya N.N. [et al.]* Age and activation of microbial communities in soils under burial mounds and in recent surface soils of steppe zone // *Eurasian Soil Science*. 2008. V. 41. № 13. P. 1439-1447.
14. *Вайнштейн М.Б., Кудряшова Е.Б.* О наннобактериях // *Микробиология*. 2000. Т. 69. № 2. С. 163-174.
15. *Каширская Н.Н.* Микробная биомасса подкурганов палеопочв степной зоны Нижнего Поволжья: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Воронеж, 2006.

БЛАГОДАРНОСТИ: Исследования проводились при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 12-04-00385) и Программы фундаментальных исследований Президиума РАН (направления 4 и 28).

Поступила в редакцию 21 сентября 2012 г.

Demkina T.S., Khomutova T.E., Kashirskaya N.N., Demkin V.A. STATE AND CENTENNIAL DYNAMICS OF MICROBIAL COMMUNITIES IN PALEOSOILS OF STEPPE KURGAN WITHIN HISTORICAL TIME

Microbiological studies of paleosoils of archeological monuments (III mil. BC – AD XVIII), located in the dry steppes of Lower Volga region, were conducted. The obtained data demonstrates that in paleosoils the microbial communities are maintained. Their total biomass amounts 20–105 %, the living one – 48–142 %, the active one – 0,2–35 % of the respective levels of the biomass in the modern soils. The paleosoils of archeological monuments in the steppe zone are unique object, preserving information on the status of soil microbial communities within past historical time.

Key words: microbial community; paleosoils; steppe; biomass: total, live, active.

УДК 575.17:581.45+504.5:669.2/8

ИЗМЕНЕНИЕ ФОРМЫ И РАЗМЕРА ЛИСТЬЕВ *LYCHNIS FLOS-CUCULI* L. В ГРАДИЕНТЕ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

© О.В. Дуля, В.С. Микрюков

Ключевые слова: *Lychnis*; популяция; генетическая дифференциация; морфология листа; промышленное загрязнение.

Проведен анализ изменчивости генетически закрепленных морфологических параметров листьев *Lychnis flos-cuculi* L. в градиенте влияния промышленных выбросов. Обнаружена как дифференциация близко расположенных популяций (удаленных на 2,5 км друг от друга) в зонах со сравнимыми уровнями загрязнения, так и сходство растений из удаленных на 30 км и контрастных по уровню загрязнения районов. Выявленные особенности морфологии листьев в разных популяциях обсуждаются с позиций экологических условий их местобитаний.

ВВЕДЕНИЕ

Содержание тяжелых металлов в почве импактных регионов, сформированных в результате действия металлургических предприятий, токсично для большин-

ства живых организмов [1]. Из-за этого растительные сообщества промышленных зон представлены ограниченным набором видов. Как правило, в ходе экотоксикологических экспериментов удается показать, что растения из импактных популяций обладают повышен-