

УДК 631.46:631.48:930.26

**Микробные сообщества подкурганных палеопочв степной зоны как индикаторы  
увлажненности климата в голоцене**

**Microbial communities in the sub-kurgan paleosoils of the steppe zone as indicators of the  
climate humidity in the Holocene**

Т.С. Демкина, Т.Э. Хомутова, А.В. Борисов

T.S. Demkina, T.E. Khomutova, A.V. Borisov

Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, г. Пущино,  
demkina@issp.serpukhov.su

*Проведены микробиологические исследования подкурганных палеопочв эпох бронзы, раннего железа и средневековья на территории Приволжской возвышенности. Показано, что в районе исследований происходило чередование аридных (засушливых) и гумидных (увлажненных) климатических периодов. К первым можно отнести рубеж III-II тыс. до н.э. и II-III вв. н.э., ко вторым – I в.н.э. и XIII в. н.э. Микробные сообщества почв адаптировались к изменяющимся условиям, что отразилось в их метаболической и эколого-трофической структурах.*

*Ключевые слова: голоцен, степь, почвенные микроорганизмы, метаболическая активность, эколого-трофическая структура, увлажненность климата.*

Проведенные исследования подкурганных палеопочв сухих и пустынных степей Нижнего Поволжья показали [1, 2], что в них до настоящего времени сохраняются микробные сообщества, существовавшие во время сооружения археологических памятников. Это подтверждено данными определения по  $^{14}\text{C}$  возраста микробной фракции палеопочв и выявленными закономерностями распределения численности микроорганизмов в профиле курганная насыпь – погребенная почва [3, 4]. Сохранению микроорганизмов прошлых эпох способствовали их адаптационные механизмы выживания в неблагоприятных экологических условиях [5, 6]. С применением электронной микроскопии установлено, что в гор. А1 подкурганных каштановых палеопочвах 80% клеток относятся к наноформам, а в современном аналоге – 60% [7]. Цитологические исследования искусственно образованных наноклеток позволили предполагать, что их формирование представляет универсальную ответную реакцию организма на неблагоприятные условия и стресс-факторы [6]. 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.

В качестве примера рассмотрим результаты микробиологических исследований хроноряды подкурганых палеопочв, погребенных в эпохи бронзы (рубеж III-II тыс. до н.э.), раннего железа (I-III вв. н.э.) и средневековья (XIII в. н.э.) на территории Приволжской возвышенности в сухостепной зоне.

Нами установлены микробиологические параметры, дающие контрастную характеристику микробного сообщества в степных палеопочвах в аридные и гумидные климатические периоды. К их числу относятся: активная биомасса микроорганизмов (С-СИД); ее доля от С орг почвы (метаболическая структура). Эколого-трофическая структура микробного сообщества (ПА:НА:БС) характеризуется соотношением микроорганизмов, растущих на почвенном агаре и использующих элементы питания из рассеянного состояния (ПА), на нитритном агаре и потребляющие гумус (НА), на богатой органической среде и разлагающие растительные остатки (БС) (в % от суммарной численности всех групп микроорганизмов). Информативным является также индекс олиготрофности (ПА/БСх100), который характеризует способность микробного сообщества ассимилировать из рассеянного состояния зольные элементы питания, то есть, чем выше его значение, тем к более бедным условиям питания приспособлены почвенные микроорганизмы и, наоборот, чем ниже, - тем к более богатым условиям, связанным с большим поступлением в почву растительных остатков. Количественные характеристики состояния микробных сообществ, такие как увеличение активной микробной массы, ее доли от Сорг почвы, преобладание в эколого-трофической структуре микроорганизмов, использующих легкодоступные органические вещества, низкие величины индекса олиготрофности дают основания говорить о возрастающем поступлении в почву растительной массы. Известно, что в засушливых областях, к каковым относится и исследованная сухостепная зона, увеличение растительной массы прежде всего обусловлено повышением увлажненности климата в тот или иной исторический период. Усиление же засушливости климата в масштабе исторического времени, напротив, приводит к снижению первых трех показателей и увеличению четвертого.

Радиоуглеродный возраст микробной фракции в гор. А1 палеопочвы совпадает со временем создания кургана по археологической датировке [3]. Поэтому рассмотрим состояние микробных сообществ в горизонте А1 изученных почв.

В каштановидной палеопочве рубежа III-II тыс. до н.э. обнаружено низкое содержание микробной массы, дающей отклик на внесение глюкозы (0,37 мкгС/г почвы): в 1778 раз меньше, чем в современной почве. Суммарная численность колониеобразующих единиц

микроорганизмов различных трофических групп составила около 52 млн КОЕ/г почвы, что сопоставимо с фоновой почвой (около 43 млн КОЕ/г почвы). Доля Смикр. в Сорг. почвы составила всего 0,01%, что в 420 раз меньше, чем в современной почве.

В рассматриваемый период бронзового века эколого-трофическая структура была представлена ПА:НА:БС = 62:3:35, индекс олиготрофности достигал 174, что указывает на сдвиг микробного сообщества в сторону олиготрофности по сравнению с современной почвой, в которой ПА:НА:БС = 55:4:41, индекс олиготрофности равнялся 135.

В каштановой палеопочве I в. н.э. установлена в 124 раза большая микробная масса, откликающаяся на внесение глюкозы, и в 60 раз большее значение Смикр./Сорг по сравнению с палеопочвой рубежа III-II тыс. до н.э. Суммарная численность микроорганизмов увеличилась в 1.3 раза, в эколого-трофической структуре повысилась доля микроорганизмов (с 35 до 40%), использующих растительные остатки за счет снижения микробов, довольствующихся элементами питания из рассеянного состояния. Индекс олиготрофности снизился (со 174 до 143). Состояние микробного сообщества палеопочвы, погребенной в I в. н.э., свидетельствует об увеличении поступления растительной массы в почву в этот период. Для исследуемой почвенно-географической зоны (сухостепная) это в первую очередь связано с повышением увлажненности климата, поскольку именно этот фактор является лимитирующим, в отличие от температуры.

В каштановой палеопочве, погребенной во II-III вв. н.э. выявлено снижение микробной массы (в 7 раз), доли Смикр. в Сорг почвы (в 12 раз), суммарной численности микроорганизмов различных трофических групп (в 1.4 раза) по сравнению с предшествующим веком. Изменения эколого-трофической структуры были не значительны.

В каштановой почве, развитой на исследованной территории в средневековье (XIII в. н.э.), вновь отмечено 14-кратное повышение биомассы микроорганизмов, реагирующих на внесение глюкозы, и 40-кратное увеличение доли микробного углерода в Сорг по сравнению с палеопочвой II-III вв. н.э. Суммарная численность микроорганизмов различных трофических групп повысилась очень незначительно (в 1.1 раза), индекс олиготрофности уменьшился (со 146 до 102). В эколого трофической структуре увеличилась доля микроорганизмов, использующих растительные остатки (с 39 до 46%) и понизилась доля микроорганизмов, использующих элементы питания из рассеянного состояния (с 58 до 46%). Полученные данные свидетельствуют о том, что в средневековье в почву поступало значительное количество растительных остатков вследствие повышения увлажненности климата.

Таким образом, состояние микробных сообществ исследованных палеопочв свидетельствуют о том, что на протяжении рассматриваемого хроноинтервала (последние

4000 лет) в районе исследований происходило чередование аридных (засушливых) и гумидных (увлажненных) климатических периодов. К первым можно отнести рубеж III-II тыс. до н.э. и II-III вв. н.э., ко вторым – I в.н.э. и XIII в. н.э. Микробные сообщества почв адаптировались к изменяющимся условиям, что отразилось в их эколого-трофической и метаболической структурах.

*Исследования проводились при поддержке РФФИ (гранты 14-04-00934, 14-06-00200) и Программы фундаментальных исследований Президиума РАН.*

#### Литература

- 1 Демкина Т.С., Борисов А.В., Демкин В.А. Микробные сообщества палеопочв археологических памятников пустынно-степной зоны // Почвоведение. 2000. № 9. С. 1117-1126.
- 2 Демкина Т.С., Борисов А.В., Демкин В.А. Микробиологические исследования подкурганных палеопочв пустынно-степной зоны Волго-Донского междуречья // Почвоведение. 2004. № 7. С. 853-859.
- 3 Demkina T.S., Khomutova T.E., Kashirskaya N.N. and 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.
- 4 Демкина Т.С., Борисов А.В., Ельцов М.В., Демкин В.А. Сравнительная характеристика микробных сообществ курганных насыпей, подкурганных и современных почв степной зоны Нижнего Поволжья // Почвоведение. 2007. № 6. С. 738-748.
- 5 Бухарин О.В., Гинцбург А.Л., Романова Ю.М., Эль-Регистан Г.И. Механизмы выживания бактерий. М.: Медицина, 2005. 367 с.
- 6 Вайнштейн М.Б., Кудряшова Е.Б. О наннобактериях // Микробиология. 2000. Т. 69 (№ 2). С. 163-174.
- 7 Каширская Н.Н. Микробная биомасса подкурганных палеопочв степной зоны Нижнего Поволжья. Автореф. дис. ... к. б. н. Воронеж, 2006.

#### Summary

Microbial studies of the sub-kurgan paleosoils on the territory of the Privolzhskaya Upland dated back to the epochs of Bronze, Early Iron, and Middle Ages were performed. It was shown that in the region studied the alternation of arid and humid climatic periods took place. The boundary of the III-II mil. BC and II-III cc. AD may be attributed to arid periods, while I c. and XIII c. AD – to humid ones. The microbial communities in paleosoils were adapted to the changeable environmental conditions that was reflected in their metabolic and ecological-trophic structure.