

DOI: 10.17746/1563-0102.2018.46.4.083-093
УДК 902+631.4

Д.А. Гаврилов¹, М.К. Хабдулина²

¹Институт почвоведения и агрохимии СО РАН
пр. Академика Лаврентьева, 8/2, Новосибирск, 630090, Россия

E-mail: gavrilov@issa-siberia.ru

²Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Республика Казахстан
Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті

Сәтбаев көшесі, 2, Астана, 010008, Қазақстан Республикасы

E-mail: mk_khabdulina@mail.ru

Древнеорошаемые почвы Бозокского археологического микрорайона в Северном Казахстане (XI–XII века)

В статье представлены результаты комплексного археолого-почвенного исследования древнеорошаемых почв Бозокского археологического микрорайона (VIII–XIV (XV) вв.) в Северном Казахстане, частью которого является сложная ветвистая сеть оросительной системы XI–XII вв. Были изучены дневные и погребенные почвы с целью выявления признаков их орошения в древности. По данным морфолого-генетического анализа, а также исследования физико-химических свойств почв и состава микробиоморфной фракции установлено, что почвы разных функциональных частей оросительной системы, расположенных в соподчиненных позициях катены, содержат свидетельства сельскохозяйственного использования. Методами многомерной статистики выявлены статистически значимые различия между фоновой и древнеорошаемыми почвами, а также высокая корреляция между группой древнеорошаемых почв и содержащимися в их микробиоморфной фракции диатомовыми водорослями, спиклами губок и фитолитами тростника. Обнаруженные отличия в концентрации микробиоморфной фракции почв, расположенных на соподчиненных позициях катены, показали степень влияния полива на преобразование микробиоморфных профилей древнеорошаемых почв в зависимости от их положения в рельефе. Типовые различия между погребенными и дневными антропогенно-преобразованными почвами позволили определить изменения в условиях почвообразования для последних 900 лет – от автоморфных гумусово-аккумулятивных к более полугидроморфным солонцовым.

Ключевые слова: древнеорошаемые почвы, оросительная система, Бозок, фитолиты, микробиоморфный анализ, Северный Казахстан.

D.A. Gavrilov¹ and M.K. Khabdulina²

¹Institute of Soil Science and Agrochemistry,
Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
Pr. Akademika Lavrentieva 8/2, Novosibirsk, 630090, Russia,

E-mail: gavrilov@issa-siberia.ru

²L.N. Gumilyov Eurasian National University,
Satpayev 2, Astana, 010008, Republic of Kazakhstan

E-mail: mk_khabdulina@mail.ru

Ancient Irrigated Soils of the Bozok Archaeological District, Northern Kazakhstan (11th to 12th Centuries)

Results of an interdisciplinary (archaeological and pedological) study of the ancient soils in the Bozok district (8th to 15th centuries) are presented. Part of the district is a complex irrigation system dating to the 11th to 12th centuries. To detect the traces of ancient irrigation, surface and buried soils were studied. Results of the morphogenetic analysis, as well as the assessment of physical and chemical properties of soils and their microbiomorph composition, suggest that soils relating to various functional parts of the

irrigation system within the same catena indicate agricultural use. The multivariate analysis revealed significant differences between irrigated and non-irrigated soils, and a high correlation between the former and the presence of diatom algae, sponge spicules, and phytoliths of *Phragmites* spp. in the microbiomorph fraction. The observed differences in the microbiomorph concentrations between soils in subordinate catena positions confirm the impact of irrigation on the transformation of the microbiomorph profiles of the ancient irrigated soils in terms of relief. The taxonomy of the buried and anthropogenically transformed surface soils at the type level suggest that over the last 900 years the pedogenic conditions changed from automorphic humus-accumulative to more semihydromorphic solonetzic ones.

Keywords: Ancient irrigated soils, irrigation system, Bozok, phytoliths, microbiomorph analysis, Northern Kazakhstan.

Введение

Орошение почв в аридных условиях – один из древнейших и распространенных способов повышения плодородия сельскохозяйственных земель [Андрианов, 1969;

Грошев, 1996]. Орошение земель является показателем уровня развития общества, его приспособления к ограниченному природным ресурсам (низкопродуктивные почвы) в условиях необходимости обеспечения сельскохозяйственной земледельческой продукцией. Поэтому древние оросительные системы являются традиционным объектом изучения археологии [Гулямов, 1957; Андрианов, 1969; Сунчугашев, 1990; Грошев, 1996].

При строительстве и эксплуатации оросительной системы ландшафт подвергается значительным преобразованиям. Нарезка каналов, создание водохранилищ, ирригационная эрозия, уплотнение верхнего горизонта почвы, образование наносов (кольмотаж), оползни, суффозия приводят к изменению рельефа. Признаки ирригации и сопровождавших ее природных явлений в условиях аридного климата сохраняются на протяжении многих тысячелетий, что позволяет использовать их в качестве самых надежных свидетельств развитого земледелия у древних обществ. Они изучаются, как правило, традиционными археологическими методами (топографическая съемка, фотофиксация, поиск подобных объектов на соседних территориях и в другие хронологические периоды). Однако изучение признаков орошения, появившихся при функционировании оросительной системы в почве как системообразующего элемента оросительной системы, выходит за пределы возможностей археологии, поэтому помощь естественно-научных методов (почвоведение, фитолинология, ботаника и т.д.) здесь неопределима.

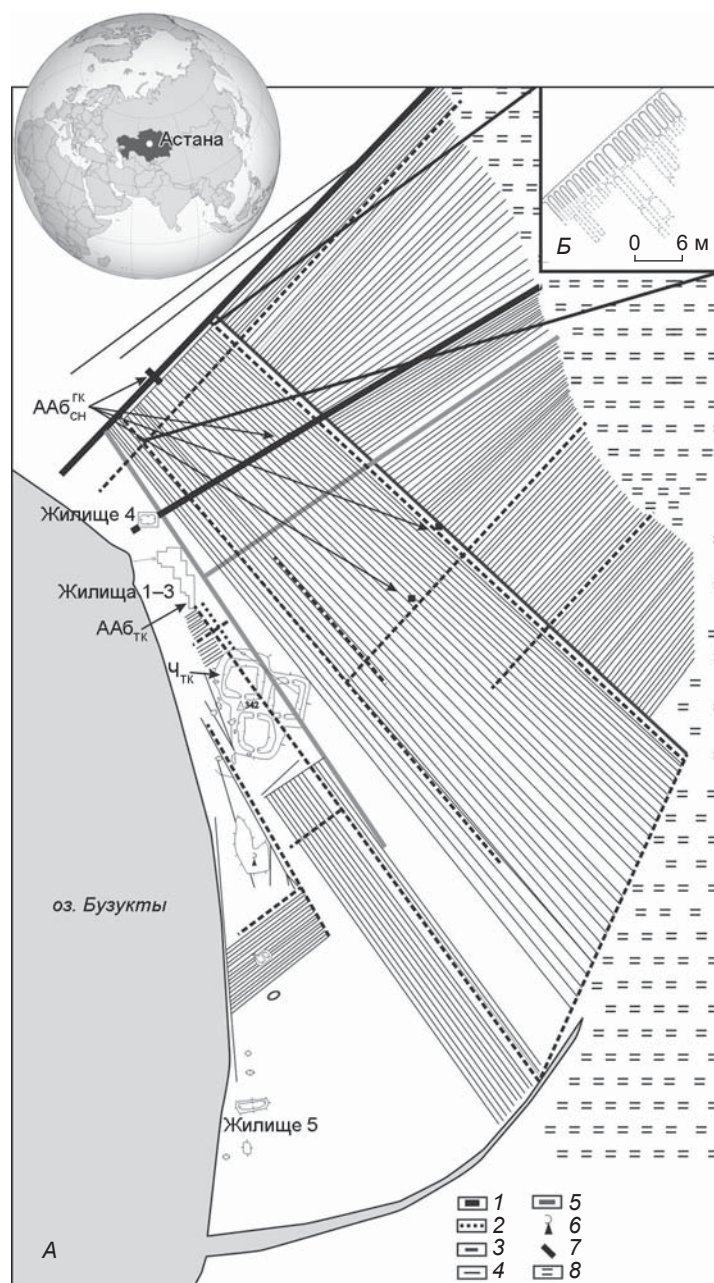


Рис. 1. План оросительной системы городища Бозок. Масштаб 1 : 5 000.

А – расположение объекта исследования: 1 – магистральный канал, 2 – валик, 3 – распределитель, 4 – ороситель, 5 – дренажный канал, 6 – мусульманское кладбище, 7 – место заложения разреза, 8 – травяное болото; Б – план грядок.

Ч_{гк} – погребенный чернозем текстурно-карбонатный; АА6_{гк} – погребенный агрообразом текстурно-карбонатный (XI–XII вв.); АА6_{гк_сн} – агрообразом солонцовый гидрометаморфизованный.

При проведении археологических работ на территории Бозокского археологического микрорайона были обнаружены остатки древней оросительной системы, прилегающие к руинам средневекового городища Бозок (рис. 1) [Гаврилов, 2008, с. 372]. С целью выявления признаков орошения в ходе археолого-почвенного обследования были изучены дневные и погребенные почвы структурных частей оросительной системы на разных элементах катены.

Объекты и методы исследования

Бозокский археологический микрорайон расположен в Нура-Ишимском междуречье на восточном берегу оз. Бузыкты на останце возвышенного берегового вала, в пределах г. Астаны (рис. 1). Площадь городища Бозок составляет более 30 га. Археологически и радиоуглеродным методами памятник датирован VIII–XIV (XV) вв. [Хабдулина, 2011, с. 284–290]. Функционирование оросительной системы относится к XI–XII вв. [Гаврилов, 2008]. Археолого-топографическое изучение показало, что Бозокская оросительная система является архитектурно сложным наземным сооружением [Хабдулина, Гаврилов, 2007].

При создании оросительной системы строителями были учтены особенности рельефа, которые определяли направление, скорость течения вод, и размежевание системы на участки с заранее заданными свойствами увлажнения почв. Места заложения разрезов орошаемых почв были привязаны к функциональным частям оросительной системы, расположенным на разных частях катены – Эль-, Транс-1 и Транс-2 позиции.

Древнеорошаемые почвы представлены двумя группами почв: 1) погребенный *агрообразем текстурно-карбонатный засоленный* и 2) дневные *агрообраземы солонцовые гидрометаморфизованные засоленные* почвы валиков, грядок, магистральных каналов и арыков [Классификация..., 2004]. В качестве фона для анализа выбран *чернозем текстурно-карбонатный*, погребенный под валом городища VII–VIII вв. [Гаврилов, Дергачева, Хабдулина, 2011, с. 8]. Общие физико-химические свойства почв изучались по стандартным методам, принятым в почвоведении [Химический анализ..., 1998].

Для диагностики древнеорошаемых почв в разных аридных районах мира успешно применяется микробиоморфный анализ [Rosen, Weiner, 1994; Madella et al., 2009; Trombold, Israde-Alcantara, 2005; Grana, Cohen, Maidana, 2014; Jenkins et al., 2016], который основан на изучении минеральных (фитолиты, губки, диатомовые водоросли) и органических (споры, пыльцы, грибные гифы, детрит и т.д.) биоморф. Каждый из видов микробиоморф отражает экологиче-

ские условия своего формирования [Гольева, 1997, 2001, 2008], а также обладает большой устойчивостью во времени.

Интерпретация материалов проведена в соответствии с методологическими разработками, предложенными А.А. Гольевой [2001, 2008]. Исследователем выделен особый вид почвенного профиля – микробиоморфный, который формируется на всем протяжении жизни почвы и записывает в своих качественных и количественных характеристиках изменения среды, факторы почвообразования или антропогенное воздействие. При изменении условий почвообразования и характеристик фитоценоза происходит постепенное замещение одного микробиоморфного профиля на другой, но общая стратиграфическая закономерность записи этих явлений остается в характеристиках микробиоморфного профиля: более нижние образцы древнее, чем те, что расположены ближе к дневной поверхности. Характер профильного распределения микробиоморф также является диагностическим признаком нормальной модели почвообразования или нарушения профиля в результате эрозионных смылов и намывов материала или агротурбации [Гольева, 2001; Свирида, Гольева, 2016].

В микробиоморфном профиле наиболее информативным является состав фитолитного профиля, который состоит из универсальных (не диагностируемых) форм фитолитов класса двудольных трав, экологических групп фитолитных комплексов разных фитоценозов (таежный, луговой, степной, сухостепной) и фитолитов отдельных семейств (*Superaceae* sp., *Pinaceae* sp.) или видов растений («сигнальные формы» (по: [Гольева, 2001]), например, *Phragmites* spp.).

Для выявления статистически достоверных признаков переувлажнения почв в результате орошения по данным микробиоморфных профилей фоновой и древнеорошаемых почв были использованы многомерные статистические методы: метод главных компонент (РСА), дискриминантный и корреляционный. Группа данных методов позволяет графически представить в многомерном пространстве расположение объектов исследования согласно дискриминирующим их признакам, а также выявить статистическую значимость различий между объектами исследования и связи между признаками и дискриминируемыми группами (совокупностями).

Статистическая обработка производилась в программе Past 2.0 [Hammer et al., 2001].

Результаты и обсуждение

Морфологическое строение почвенных профилей. Для выявления признаков орошения в строении и свойствах почв в качестве фона была выбрана по-

гребенная почва под валом городища – *чернозем текстурно-карбонатный* ([AUca] (0-10(20))-[AUca/CAT] (20-40)-[CAT] (40-90)) [Гаврилов, Дергачева, Хабдулина, 2011, с. 8–9].

Погребенная почва под развалом стены жилища 3 (790 ± 35 л.н. (СОАН-7328), дата установлена по костям животных) определена нами как *агрообразем текстурно-карбонатный засоленный* (древнеорошаемый) ([PB](s) (0-10)-[PB/CAT](s) (10-30)-[CAT] (30-90)). Она в отличие от фоновой почвы имеет агротурбированный гумусовый горизонт с глубокими гумусовыми языками и засолена по всему почвенному профилю.

Агрообраземы солонцовые гидрометаморфизованные засоленные (древнеорошаемые) (PBagr (0-8(15))-Sels (8(15)-35)-BSN (35-55)-BCAqs (55-90)) преобладают в почвенном покрове археологического микрорайона (рис. 1). Они резко отличаются от вышеуказанных почв наличием признаков солонцеобразования и гидроморфизма (окисные формы железа с серыми единичными пятнами закисного железа). При морфологическом обследовании строения почвенных профилей древнеорошаемых почв признаки, позволяющие диагностировать древнюю распашку (ровная нижняя граница пахотного горизонта или наличие уплотнения в подплужной подошве), не были выявлены. Только при вертикальной зачистке раскопов на границе пахотного горизонта удалось зафиксировать однонаправленные линии – следы после прохождения плуга.

Общие физико-химические свойства. Погребенный *чернозем текстурно-карбонатный* (фон) сформирован на неоднородном по происхождению русло-

вом и пойменном аллювии, что объясняет супесчаный гранулометрический состав гумусового горизонта и более тяжелый – суглинистый – в нижней части профиля почвы (табл. 1).

Распределение общего углерода ($C_{\text{общ.}}$) в палеопочве характеризуется поверхностно-аккумулятивным типом: в гумусовом горизонте – ок. 1 %, а в минеральных горизонтах – менее 0,7 %. Магнитная восприимчивость (МВ) изменяется параллельно общему органическому углероду: колеблется в гумусовом горизонте в пределах $1,0-0,7 \cdot 10^{-6}$ СГСЕ/г, постепенно снижаясь до глубины 1 м, и затем практически флуктуирует в очень малом диапазоне. Во всех горизонтах палеопочвы щелочное значение реакции среды ($pH_{\text{водн.}}$ 8,2–8,7) постепенно увеличивается с глубиной.

Образование этой почвы происходило при относительно повышенном увлажнении, которое обусловило выщелачивание карбонатов в более глубокие горизонты, поэтому верхняя часть профиля содержит небольшое их количество, максимум приходится на глубину 39–67 см. Поскольку в гумусовом горизонте карбонаты встречаются в виде пропитки, можно полагать, что палеопочва формировалась в теплых и умеренно влажных условиях.

Почва имеет характеристики гумусового профиля, типичного для степных почв: постепенное уменьшение гуминовых кислот (ГК) с глубиной, увеличение фульвокислот (ФК) в том же направлении, «ножничное» внутрипрофильное распределение гумусовых кислот (табл. 1), преобладание гуматов кальция (ГК фр. 2) в составе гуминовых кислот, равномерное распределение и небольшая доля (2–5 %) ГК фр. 3 [Хабдулина, Гаврилов, Дергачева, 2011, с. 444]. По-

Таблица 1. Физико-химические характеристики погребенных палеопочв

Горизонт*	n**	$C_{\text{общ.}}, \%$	$X \cdot 10^{-6}$ СГСЕ/г	$pH_{\text{водн.}}$	$CaCO_3, \%$	$C_{\text{ГК}} : C_{\text{ФК}}^{*4}$	< 0,01 %	< 0,1 %
<i>Чернозем текстурно-карбонатный (фон)</i>								
[AUca] (0–15)	3	$0,8 \pm 0,1^{***}$	$0,9 \pm 0,2$	8,2	$1,0 \pm 0,56$	$1,4 \pm 0,2$	$11,6 \pm 3,4$	$16,3 \pm 4,8$
[AUca/ CAT] (19–39)	5	$0,5 \pm 0,1$	$1,0 \pm 0,1$	$8,4 \pm 0,1$	$5,3 \pm 3,7$	$0,6 \pm 0,2$	$14,9 \pm 1,0$	$20,3 \pm 1,7$
[CAT] (39–90)	6	$0,2 \pm 0,1$	$0,7 \pm 0,1$	$8,6 \pm 0,1$	$12,4 \pm 1,6$	$0,3 \pm 0,1$	$13,8 \pm 2,3$	$22,8 \pm 1,5$
<i>Агрообразем текстурно-карбонатный засоленный (древнеорошаемый)</i>								
[PB](s) (0–10)	1	2,5	1,8	8,5	0	1,95	17,6	21,5
	1	1,5	2,0	8,5	0	1,56	15,0	26,4
[PB/ CAT](s) (10–30)	1	0,8	1,5	8,5	0	1,99	15,4	27,0
	4	$0,7 \pm 0,1$	$1,2 \pm 0,1$	$8,7 \pm 0,1$	$0,2 \pm 0,2$	$1,2 \pm 0,4$	$16,9 \pm 0,8$	$28,0 \pm 4,0$
[CAT] (30–90)	4	$0,3 \pm 0,1$	0,8	$9,0 \pm 0,1$	$11,4 \pm 1,7$	0,5	$17,6 \pm 1,2$	$33,7 \pm 1,5$

*Здесь и далее в скобках – глубина от поверхности палеопочвы, см.

**Здесь и далее количество образцов, взятых с разных глубин в одном горизонте.

***Данные по физико-химическим свойствам, представленные как среднее значение \pm стандартное отклонение, если $n \geq 2$.

*4 $C_{\text{ГК}}$ – углерод гуминовых кислот, $C_{\text{ФК}}$ – углерод фульвокислот.

добный состав гумусовых веществ свидетельствует о черноземном типе почвообразования при теплых и умеренно влажных условиях [Пономарева, Плотнокова, 1980].

В погребенном *агрообразе текстурно-карбонатном засоленном* распределение общего углерода по профилю характеризуется также поверхностно-аккумулятивным типом – от 2,5 % в горизонте [PB](s) до 0,2 % в горизонте [CAT] (табл. 1). Однако содержание $C_{\text{общ}}$ в гумусовом горизонте в 2,5 раза выше, чем в фоновой почве. Данный факт следует объяснить дополнительным обогащением озерным сапропелем верхней части гумусового горизонта, который мог попасть сюда с оросительными водами, что согласуется с результатами микробиоморфного анализа.

МВ имеет повышенные значения в горизонтах [PB](s) и [PB/CAT](s), где достигает $1,1\text{--}2,0 \cdot 10^{-6}$ ГСГЕ/г, составляя в [CAT] ок. $0,8 \cdot 10^{-6}$ ГСГЕ/г. Нижней части горизонта [CAT] в этой почве, как и других почв городища Бозок, соответствуют близкие значения ($0,7\text{--}0,9 \cdot 10^{-6}$ ГСГЕ/г). Образцы из гумусового горизонта дают инверсию в значении МВ: нижележащий образец проявляет повышенную МВ относительно вышележащего (табл. 1).

Изучение состава гумуса показало, что гумусово-аккумулятивная толща выделяется гуматным типом гумуса ($C_{\text{гк}} : C_{\text{фк}} = 1,6\text{--}2,0$), который к низу профиля меняется на фульватно-гуматный и затем фульватный (табл. 1). Наиболее подвижные фульвокислоты накапливаются в нижней части профиля и достигают там 12–13 % от общего углерода [Хабдулина, Гаврилов, Дергачева, 2011, с. 445]. Профильное «ножичное» распределение основных компонентов гумуса, как и абсолютные величины соотношения углерода гуминовых кислот к углероду фульвокислот, характерно для степных почв [Пономарева, Плотнокова, 1980]. В гумусовом профиле выявлено нетипичное распределение показателей соотношения групп гумусовых кислот ($C_{\text{гк}} : C_{\text{фк}}$) и МВ в гумусовом горизонте, что подтверждает предположение о нарушении естественного сложения гумусового горизонта в результате агрогенной турбации (вспашки).

Реакция почвенной среды характеризуется как сильно щелочная ($\text{pH}_{\text{водн.}} 8,5\text{--}9,1$). Максимум CaCO_3

приходится на глубину 30–70 см от поверхности палеопочвы, верхняя 20-сантиметровая часть которой выщелочена от карбонатов.

Почвенный профиль засолен. Тип засоления – сульфатно-хлоридный. В распределении плотного остатка по профилю наблюдаются два пика, приуроченные к верхней границе погребенной поверхности гумусового горизонта и переходной зоне между гумусовым и текстурно-карбонатными горизонтами (табл. 2). Данную особенность следует связать с этапами внутрипрофильной аккумуляции солей в периоды экспонирования палеопочвы и ее погребения (диагенез). Скорее всего, во время оросительных работ почва была выщелочена от солей до верхней границы текстурно-карбонатного горизонта, причем степень засоления была значительно ниже, чем современный уровень.

Анализ физико-химических свойств *агрообразе солонцового гидрометаморфизованного* засоленного показывает четкую дифференциацию профиля. Распределение $C_{\text{общ}}$ по профилю носит регрессивно-аккумулятивный характер (табл. 3). Второй максимум в содержании $C_{\text{общ}}$ приурочен к нижней границе горизонта PB/CAT(s), что следует объяснить результатом вспашки, при которой аккумулятивно-гумусовая часть профиля была перемещена на глубину почти 30 см.

Реакция среды почвенного раствора в горизонте PBагт слабокислая или нейтральная, резко меняется на щелочную в солонцовом горизонте. Профиль агрообразе солонцового дифференцирован по илистой фракции. Наблюдается ее вымывание из элювиального горизонта и накопление в солонцовом. Этот горизонт отличается изменением и почвенно-поглощающего комплекса: отмечены его увеличение, резкое снижение доли Ca^{+2} и увеличение Na^{+} .

Территория микрорайона слабо дренирована за счет подпорки грунтовых вод со стороны окружающих водоемов (р. Ишим, озера Бузыкты и Талдыколь), что в условиях аридного климата обуславливает процесс засоления почв. Анализ водной вытяжки показал, что верхняя граница залегания солей приходится на элювиальный горизонт, здесь плотный остаток составляет 0,7 %. Максимум солей приурочен к солонцовой толще и захватывает верхнюю часть

Таблица 2. Данные анализа водной вытяжки агрообразе текстурно-карбонатного засоленного (древнеорошаемый)

Горизонт	n	Плотный остаток, %	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$\text{Na}^{+} + \text{K}^{+}$	$\text{Cl}^- : \text{SO}_4^-$
PB(s) (0–7)	2	$2,1 \pm 0,1$	0,6	$4,0 \pm 0,1$	$23,8 \pm 0,9$	$10,4 \pm 0,8$	$7,2 \pm 0,6$	$10,7 \pm 0,6$	0,1
PB/CAT(s) (7–28)	3	$1,6 \pm 0,2$	0,6	$4,9 \pm 0,4$	$16,7 \pm 2,9$	$5,0 \pm 1,9$	$6,7 \pm 0,8$	$10,5 \pm 0,6$	0,2
	1	2,2	0,6	6,6	22,9	8,2	9,1	12,7	0,2
CAT(s) (28–70)	4	$1,5 \pm 0,4$	0,5	$6,4 \pm 0,8$	$15,1 \pm 4,0$	$6,8 \pm 2,3$	$5,1 \pm 1,3$	$10,0 \pm 1,3$	0,3

Таблица 3. Физико-химические свойства агрообразца солонцового гидрометаморфизованного засоленного (древнеорошаемый, магистральный канал)

Горизонт	n	С общ, %	pH _{водн.}	СаСО ₃ , %	Плот- ный остаток, %	Cl-/SO ₄ ⁻	Обменные основания								< 0,01%	< 0,1 %
							Н ⁺	Са ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	Σ	Na ⁺ %, от Σ			
														Смоль (экв)/кг		
PBagr (0–8)	1	3,2	5,6	0	0,2	0,5	0,7	11,3	0,5	0,7	1,5	14,7	4,8	10,0	29,3	
SEIs (8–15)	1	1,4	6,7	0	0,2	0,4	0,1	6,2	0,4	1,9	0,9	9,5	20,0	11,0	30,3	
	1	0,8	7,7	0	0,7	0,5	0,2	4,4	0,8	3,6	0,7	9,8	37,4	12,8	24,4	
BSNscaas (15–33)	4	0,6 ± 0,2	8,4 ± 0,2	1,8 ± 2,3	4,4 ± 2,8	0,4	0	2,9 ± 0,4	1,2 ± 0,1	6,9 ± 0,7	0,9 ± 0,1	12,0 ± 1,1	57,8 ± 1,8	28,3 ± 3,2	39,5 ± 2,7	
	6	0,2	8,7 ± 0,2	10,8 ± 2,5	1,7 ± 0,4	0,5	0	3,2 ± 0,4	0,9 ± 0,1	4,1 ± 0,3	0,4 ± 0,1	8,7 ± 0,4	47,5 ± 3,6	20,1 ± 3,2	30,2 ± 2,8	

горизонта ВСА. Содержание солей здесь в сумме достигает 1,9–2,2 %. Тип засоления по всему профилю – хлоридно-сульфатный с присутствием гипса (табл. 3).

Результаты морфолого-генетического анализа и изучения физико-химических свойств почв фиксируют типовые различия между погребенными и дневными агрогенно-преобразованными почвами, что связано с изменением условий почвообразования за последние 900 лет – от автоморфных (агрообразем текстурно-карбонатный) к более полугидроморфным (агрообразем солонцовый гидрометаморфизованный). Данный факт объясняется, скорее всего, дополнительным сбросом сточных вод г. Астаны в озера Талдыколь и Бузыкты на современном этапе, который приводит к подъему грунтовых вод на прилегающей территории.

Микробиоморфное изучение. При изучении микробиоморфного состава гумусового и подгумусовых горизонтов почв особое внимание было уделено признакам обводнения (диатомовые водоросли, спикулы губок, фитолиты тростника) и вспашки (регрессивное распределение микробиоморф) (табл. 4).

Изучение микробиоморфного комплекса фонового чернозема текстурно-карбонатного VII–VIII вв. было проведено по образцам из гумусового горизонта (кв. 22/Н и 25/О). В поверхностном образце (0–1 см) микробиоморфная фракция характеризуется средним содержанием аморфной органики, низким детрита и пылицы. Фитолитов много, единично встречаются спикулы губок. Ниже на глубине 4–5 см концентрация микробиоморф возрастает. В фитолитном спектре значительную долю занимают фитолиты степных злаков. Спикулы губок единичны. В нижней части гумусового горизонта (9–10 см) содержание микробиоморф резко уменьшается. Фитолитный спектр отражает формирование степного фитоценоза.

Таким образом, относительно среднее содержание фитолитов в верхнем образце и присутствие в нем пылицы, а также более повышенное содержание аморфной органики позволяет сделать вывод о сильной деградации степного фитоценоза на момент погребения почвы. Деградация растительного покрова могла быть результатом использования этого участка для выпаса скота. Малая мощность гумусового горизонта (15 см) по сравнению с таковой зональных почв подтверждает сильную эродированность поверхности почвы. Признаков вспашки и дополнительного переувлажнения почвы не выявлено.

В поверхностном образце (0–1 см) погребенного агрозема текстурно-дифференцированного отмечается сильное обогащение микробиоморфной фракции. Обнаружено много целых спикул губок и несколько экземпляров диатомовых водорослей. В фитолитном спектре представлены фитолиты степных злаков и фитолиты тростника. Небольшая их доля обуглена.

Окончание табл. 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Арык № 4. Транс-2													
Bz_389	4–5	1 242/100	24/2	165/13	1053/100	6/1	0/0	32/3	204/19	375/36	3/> 1	0/0	0/0
Bz_388	9–10	900/100	10/1	146/17	744/100	2/> 1	2/> 1	64/9	150/20	240/32	8/1	0/0	0/0
Bz_386	19–20	900/100	6/1	110/18	784/100	6/1	0/0	58/7	170/22	276/35	4/1	0/0	4/1
Bz_385	24–25	20/100	0/0	0/0	20/100	0/0	1/5	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0
Валик. Транс-2													
Bz_368	4–5	319/100	9/3	38/12	272/100	0/0	7/3	33/12	43/16	48/18	3/1	0/0	0/0
Bz_367	9–10	430/100	4/1	44/11	382/100	2/1	13/3	17/4	93/24	76/20	2/1	0/0	0/0
Bz_366	14–15	580/100	18/3	40/7	529/100	1/> 1	8/2	30/6	128/24	152/29	3/1	0/0	1/> 1
Bz_365	19–20	641/100	16/1	77/12	548/100	4/1	5/1	26/5	115/21	148/27	2/0	2/0	5/1
Bz_364	24–25	3/100	0/0	0/0	3/100	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0

*Процент от микробиоморф.

**Процент от общего числа фитолитов.

Морфотипы фитолитов: 1 – удлиненные дендровидные; 2 – кубовидные гладкие; 3 – пластинки; 4 – усеченные конусовидные; 5 – седловидные; *Phragmites* spp.: 6 – веерообразные, 7 – параллелепипедовидные крупные; 8 – крючкообразные волоски.

На глубине 4–5 см микробиоморфная фракция по характеристикам близка к предыдущему образцу. Вместе с тем она отличается большим обогащением диатомовыми водорослями и микроугольками. Содержание фитолитов в образце микробиоморфной фракции несколько понижено, по сравнению с предыдущим образцом. Обнаружена единичная кутикула предположительно проса (*Panicum* sp.) [Ночуан Lu et al., 2009].

В образце (9–10 см) из нижележащего слоя состав микробиоморфной фракции близок к образцам из верхних слоев. Однако содержание фитолитов, спикул губок и диатомовых водорослей в нем выше.

Таким образом, данный почвенный профиль испытывал дополнительное увлажнение водами из мелководного водоема, свидетельством чего являются диатомовые водоросли, спикулы губок и фитолиты тростника. Кроме того, регрессивное распределение фитолитов по профилю позволяет подтвердить предположение о дополнительной механической обработке почвы при проведении сельскохозяйственных работ [Свирида, Гольева, 2016].

Микробиоморфный состав образца *агрообразема солонцового гидрометаморфизованного засоленного* (магистральный канал) на глубине 4–5 см сильно обогащен микробиоморфной фракцией относительно погребенной древнеорошаемой почвы (табл. 4). Много обломков спикул губок и целых диатомовых водорослей. В фитолитном спектре доминируют фитолиты степных злаков. Кроме того, обнаружено относительно большое количество фитолитов тростника и сорной растительности. Аморфной органики и детрита много. Кутикулы растительной ткани единичны.

На глубине 9–10 и 14–15 см образцы также сильно обогащены микробиоморфной фракцией. Много обломков спикул губок и целых диатомовых водорослей. Фитолитные спектры идентичны спектру вышележащего образца: фитолитный комплекс степного фитоценоза и фитолиты тростника.

В транзитной позиции катены были изучены *агрообраземы солонцовые гидрометаморфизованные* распределительного канала, арыка (канал, орошаемое поле) и валика. В поверхностных образцах (4–5 см) каналов отмечена большая концентрация микробиоморф относительно почв валика и почв, расположенных вверх по катене. Образец сильно обогащен микробиоморфной фракцией. Обнаружено много спикул губок и диатомовых водорослей, причем среди последних преобладают целые экземпляры. В фитолитном спектре доминируют фитолиты степных злаков, обнаружено относительно большое количество фитолитов тростника и сорной растительности. Аморфной органики и детрита много. Кутикулы растительной ткани единичны.

Вниз по профилю на глубине 9–10 см количество микробиоморф выше относительно образца из выше-лежащего слоя. В образце много микробиоморф – спикул губок, диатомовых водорослей и фитолитов. Фитолитный комплекс степного фитоценоза и фитолиты тростника. Кутикулы растительной ткани единичны.

В нижней части гумусово-элювиального горизонта также наблюдается увеличение концентрации фитолитов, спикул губок и диатомовых водорослей, которое резко снижается уже на глубине 19–20 см.

При общем сходстве по составу и профильному распределению микробиоморф образцов из валика концентрация в них микробиоморфной фракции в 4 раза ниже, чем в образцах из каналов и орошаемого поля. Это объясняется тем, что валики не затоплялись водой, которая переносила вниз по катене мелкодисперсные частицы и микробиоморфы.

Таким образом, в изученных образцах зафиксировано довольно большое содержание микробиоморф, среди которых присутствуют диагносты переувлажнения почв: диатомовые водоросли, спикулы губок и фитолиты тростника. Кроме того, в изученных древнеорошаемых почвах малое количество аморфной органики и пыльцы в образцах из нижней части гумусового и солонцового горизонтов относительно образцов из вышележащих слоев соответствует общей логике аккумулятивного распределения веществ по профилю почвы. Вместе с тем большое содержание фитолитов и диатомовых водорослей в нижележащих образцах гумусово-солонцовой части почвы находится в противоречии с логикой профильного распределения других биоморф. Данный факт объясняется постоянным накоплением в этой части при периодическом перепахивании слоя профиля фитолитов и диатомовых водорослей, что приводило к снижению их концентрации в верхней части почвы и аккумуляции их внизу [Свирида, Гольева, 2016].

При орошении происходил перенос микробиоморф в пространстве: из почв, расположенных в верхних позициях катены (Эль-позиция), в почвы каналов и орошаемых полей, расположенных ниже. Кроме того, в течение почти 900-летнего постмелиоративного этапа функционирования почв происходило новое накопление микробиоморф, ставшее причиной относительно аккумулятивного распределения микробиоморф в отличие от орошаемых почв, которые находились в погребенном состоянии и в которых сохранилось регрессивно-аккумулятивное распределение микробиоморф (табл. 4).

Статистическая обработка результатов микробиоморфного анализа. Результаты дискриминантного анализа подтвердили различия в микробиоморфных комплексах почв по наличию признаков древнего орошения по Root 1 (рис. 2). В отрицательной области координат расположена фоновая погребенная черно-

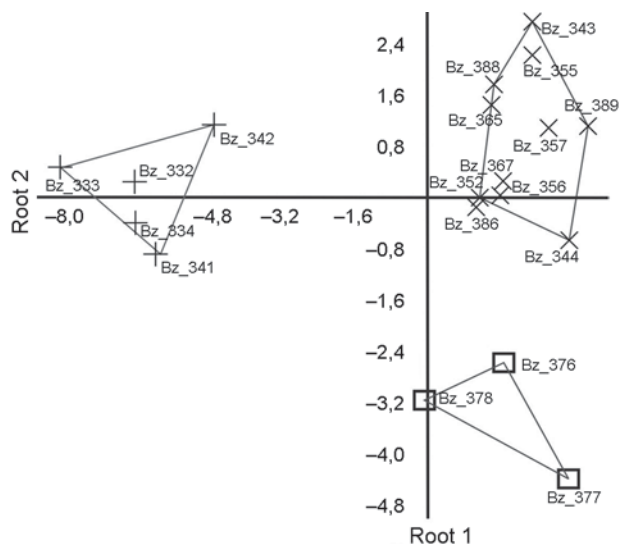


Рис. 2. График распределения микробиоморфных комплексов изученных образцов в пространстве двух корней. Фон: погребенный Ч_{тк} – Bz₃₃₃–Bz₃₄₂; древнеорошаемые почвы: – погребенный ААб_{тк} (XI–XII вв.) – Bz₃₄₃–Bz₃₄₅; дневные ААб_{тк}. Bz₃₅₅–Bz₃₅₇ – распределительный канал второго порядка, Bz₃₇₆–Bz₃₇₈ – магистральный канал; Bz₃₈₆–Bz₃₈₉ – арык.

земная почва, а в противоположной – древнеорошаемые почвы. По результатам корреляционного анализа состава микробиоморфного комплекса и Root 1 при $p < 0,05$ выявлена сильная взаимосвязь ($r = 0,7–0,99$) между группой древнеорошаемых почв и обнаруженными осколками спикул губок, целыми скелетами диатомовых водорослей, седловидными и веерообразными формами фитолитов. Средняя корреляционная взаимосвязь ($r = 0,5–0,69$) имеется с осколками скелетов диатомовых водорослей, удлинненными дендровидными формами фитолитов и общей суммой фитолитов и микробиоморф. Обнаруженная корреляция диагностирует переувлажненные условия функционирования почв – это скелеты микроорганизмов спикулы губок, микроводоросли – диатомовые, а также веерообразные фитолиты тростника (*Phragmites* sp.). Дендровидные фитолиты часто определяют группу культурных злаков, которые при большом объеме выборки могут помочь в определении растений, которые возделывались на полях [Rosen, Weiner, 1994; Ball, 1996; Rosen, 2000; Berlin et al., 2003; Ball et al., 2015; Houyuan Lu et al., 2009; Свирида, Гольева, 2016].

Микробиоморфный комплекс целинной палеочерноземной почвы имеет облик сухой степи. Наиболее яркий признак, отличающий фоновую почву от сельскохозяйственно используемых, – наличие усеченных конусовидных форм фитолитов ($r = -0,73$ при $p < 0,05$).

Группы древнеорошаемых почв в разных функциональных частях оросительной системы, согласно результатам дискриминантного анализа, различаются по Root 2. Хотя микробиоморфный комплекс орошаемых почв отличен от фона (Root 1), внутри группы резко выделяется микробиоморфный комплекс магистрального канала (Эль-позиция). Своеобразие микробиоморфного комплекса канала во многом обусловлено наличием кубовидных гладких форм фитолитов ($r = 0,75$ при $p < 0,05$), идентификация растений по которым пока вызывает затруднение. Остальные древнеорошаемые почвы отличаются более обогащенной микробиоморфной фракцией и относительно большее количество нецелых скелетов диатомовых водорослей, что объясняется транзитным положением почв в рельефе. Накопление мелкодисперсного материала (в т.ч. микробиоморф) в почвах более повышенных форм рельефа происходило в результате водной эрозии. Водная эрозия является обязательным следствием слабо контролируемого полива. Дополнительным аргументом в пользу предположения об излишнем переувлажнении и водной эрозии почв может быть наличие фитолитов тростника, который предпочитает расти в субаквальных условиях.

Заключение

Комплексное археолого-почвенное изучение почв оросительной системы Бозокского археологического района подтвердило предположение об использовании прилегающих земель в сельскохозяйственной практике населения XI–XII вв. Дневные почвы и палеопочва X–XII вв. имеют признаки сельскохозяйственного освоения территории микрорайона. К наиболее устойчивым признакам следует отнести свидетельства дополнительного полива земель водами из мелководного водоема (спикулы губок, диатомовые водоросли и фитолиты тростника) и вспашки (регрессивно-аккумулятивное распределение содержания общего углерода, соотношения групп гумусовых кислот, значения магнитной восприимчивости и микробиоморф в гумусовой части профиля). По данным морфолого-генетического анализа и результатам изучения физико-химических свойств почв, орошаемые почвы в Средневековье функционировали в условиях автоморфного черноземного типа почвообразования, отличного от современного – полугидроморфного солонцового типа.

Важно отметить, что за 900-летний постмелиоративный период функционирования почв не стерлись признаки былого антропогенного преобразования почвенных профилей, что позволяет считать использование методов почвоведения обязательным условием проведения работ по изучению сельскохозяйственно-го уклада древних обществ.

Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Министерства образования и науки Республики Казахстан (проект № AP05133813).

Список литературы

- Андрянов Б.В.** Древние оросительные системы Приаралья (в связи с историей возникновения и развития орошаемого земледелия). – М.: Наука, 1969. – 253 с.
- Гаврилов Д.А.** Предварительные результаты изучения оросительной системы раннесредневекового городища Бозок // Материалы междунар. науч. конф. «Роль степных городов в цивилизации номадов», посвящ. 10-лет. юбилею г. Астана. 2 июля 2008 г. – Астана, 2008. – С. 371–376.
- Гаврилов Д.А., Дергачева М.И., Хабдулина М.К.** Палеопочвы и природные условия функционирования средневекового городища Бозок в VIII–XIV вв. // Вестн. Том. гос. ун-та. Биология. – 2011. – № 3 (15). – С. 7–15.
- Гольева А.А.** Биоморфный анализ как составная часть генетико-морфологического исследования почвы // Почвоведение. – 1997. – № 9. – С. 1045–1055.
- Гольева А.А.** Фитолиты и их информационная роль в изучении природных и археологических объектов. – М.: Наука, 2001. – 140 с.
- Гольева А.А.** Микробиоморфные комплексы природных и антропогенных ландшафтов: генезис, география, информационная роль. – М.: УРСС, 2008. – 256 с.
- Грошев В.А.** Древняя ирригация юга Казахстана. – Алматы: Гылым, 1996. – 357 с.
- Гулямов Я.Г.** История орошения Хорезма с древнейших времен до наших дней. – Ташкент: Изд-во АН УзССР, 1957. – 313 с.
- Классификация и диагностика почв России.** – Смоленск: Ойкумена, 2004. – 342 с.
- Пономарева В.В., Плотникова Т.А.** Гумус и почвообразование: Методы и результаты изучения. – Л.: Наука, 1980. – 222 с.
- Свирида Н.М., Гольева А.А.** Диагностика средневековой распахки при помощи фитолитного анализа на примере археологических памятников Кукарки и Княжич Московской области // Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата. – 2016. – Т. 7, № 1 (13). – С. 116–131.
- Сунчугашев Я.И.** Памятники орошаемого земледелия средневековой Хакасии. – Абакан: Хака. отд-ние Краснояр. кн. изд-ва, 1990. – 96 с.
- Хабдулина М.К.** Новые открытия в средневековой археологии Казахстана // Новые исследования по археологии стран СНГ и Балтии: мат-лы Школы молодых археологов. Кириллов, 3–12 сентября 2011 г. / отв. ред. В.Е. Родинкова. – М.: ИА РАН, 2011. – С. 278–292.
- Хабдулина М.К., Гаврилов Д.А.** Новые данные о развитии средневекового земледелия по материалам городища Бозок // Наука и образование: мат-лы Междунар. науч. конф. – Астана, 2007. – С. 20–26.
- Хабдулина М.К., Гаврилов Д.А., Дергачева М.И.** Природные условия функционирования средневекового городи-

ща Бозок (VIII–XIV вв.) // Маргулановские чтения – 2011: мат-лы Междунар. археол. конф. Астана, 20–22 апреля, 2011 г. – Астана, 2011. – С. 443–447.

Химический анализ почв / под ред. Л.С. Воробьевой. – М.: Изд-во Моск. гос. ун-та, 1998. – 272 с.

Ball T. Identifying Phytoliths Produced by the Inflorescence Bracts of Three Species of Wheat (*Triticum monococcum* L., *T. dicoccon* Schrank., and *T. aestivum* L.) Using Computer-Assisted Image and Statistical Analyses // J. of Archaeol. Sci. – 1996. – Iss. 23. – P. 619–632.

Ball T., Chandler-Ezell K., Duncan N., Dickau R., Hart T.C., Iriarte J., Lentfer C., Logan A., Lu H., Madella M., Pearsall D.M., Piperno D., Rosen A.M., Vrydaghs L., Weisskopf A., Zhang J. Phytoliths as a tool for investigations of agricultural origins and dispersals around the world // J. of Archaeol. Sci. – 2015. – Iss. 68. – P. 32–45.

Berlin M.A., Ball T., Thompson R., Herbert Sh.C. Ptolemaic Agriculture, “Syrian Wheat”, and *Triticum aestivum* // J. of Archaeol. Sci. – 2003. – Iss. 3. – P. 115–121.

Grana L., Cohen M.L., Maidana N.I. Methodological proposal to identify irrigation canals using diatoms as biomarkers: Peñas Coloradas (Antofagasta De La Sierra, Southern Puna of Argentina) // Physical, Chemical and Biological Markers in Argentine Archaeology: Theory, Methods and Applications / eds. D.M. Kligmann, M.R. Morales. – Oxford: Archaeopress, 2014. – P. 73–83.

Hammer O., Harper D.A.T., Ryan P.D. PAST: Paleontological Statistics software package education and data analysis // Paleontologia Electronica. – 2001. – Vol. 4, iss. 4. – P. 1–9.

Houyuan Lu, Jianping Zhang, Naiqin Wu, Kam-biu Liu, Deke Xu, Quan Li. Phytoliths Analysis for the Discrimination of Foxtail Millet (*Setaria italica*) and Common Millet (*Panicum miliaceum*) // PLOS One. – 2009. – February, 12. – URL: <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0004448>

Jenkins E., Jamjoum Kh., Nuimat S., Stafford R., Nortcliff S., Mithen S. Identifying ancient water availability through phytolith analysis: An experimental approach // J. of Archaeol. Sci. – 2016. – Iss. 73. – P. 82–93.

Madella M., Jones M.K., Echlin P., Powers-Jones A., Moore M. Plant water availability and analytical microscopy of phytoliths: Implications for ancient irrigation in arid zones // Quaternary Intern. – 2009. – Vol. 193. – P. 32–40.

Rosen A.M. Phytolith analysis in Near Eastern archaeology // The Practical Impact of Science on Near Eastern and Aegean Archaeology / eds. S. Pike, S. Gitin. – L.: Archaeotype Publ., 2000. – P. 9–15.

Rosen A.M., Weiner S. Identifying ancient irrigation: a new method using opaline phytoliths from emmer wheat // J. of Archaeol. Sci. – 1994. – Iss. 21. – P. 132–135.

Trombold Ch.D., Israde-Alcantara I. Paleoenvironment and plant cultivation on terraces at La Quemada, Zacatecas, Mexico: the pollen, phytolith and diatom evidence // J. of Archaeol. Sci. – 2005. – Iss. 32. – P. 341–353.

Материал поступил в редколлегию 03.05.17 г.,
в окончательном варианте – 04.01.18 г.