

ПАЛЕОЭКОЛОГИЯ

ХИМИЧЕСКИЕ И МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КУЛЬТУРНЫХ СЛОЕВ ПОСЕЛЕНИЙ КОБАНСКОЙ КУЛЬТУРЫ (XIII–IX вв. до н.э.) В ОКРЕСТНОСТЯХ г. КИСЛОВОДСКА¹

А.В. Борисов*, С. Петерс**, Е.В. Чернышева*, Д.С. Коробов***, С. Рейнхольд****

Проведены исследования химических свойств и ферментативной активности почв и культурных слоев поселений эпохи поздней бронзы (XIII–IX вв. до н.э.) в зоне горных черноземов в окрестностях г. Кисловодска. Показано, что антропогенное влияние на почвы, имевшее место более 3000 лет назад, привело к значительному возрастанию содержания в почве подвижных фосфатов и изменению ферментативной активности, что отражает специфику антропогенного влияния на почвы на различных участках поселений.

Поселения, инфраструктура, кобанская культура, почвы, фосфаты, кератинолитические грибы, уреазная активность.

Введение

Изменение свойств почв в результате древних антропогенных воздействий, а также способность почвы сохранять до наших дней информацию об этих воздействиях вызывают постоянный и все возрастающий интерес исследователей. При этом в центре внимания оказывается культурный слой древних поселений, как почвенно-грунтовой объект наиболее интенсивного антропогенного прессинга. В настоящее время достигнуты значительные успехи в изучении целого спектра морфологических, химических, магнитных, петрографических, микроморфологических свойств почвы, а также в области палинологического, микробиоморфного анализа, изучения органического вещества и металлов в почвах и культурных слоях поселений [Культурные слои..., 2006, с. 45–55].

Наибольший прогресс наблюдается в изучении минеральных или минерализованных свидетельств древнего антропогенного воздействия на почву. Что касается выявления материалов органической природы, поступавших в почвы поселений, то в этом направлении круг исследований значительно уже. Это объясняется тем, что органические субстраты, попадающие в почву, полностью перерабатываются почвенной микробиотой и не оставляют никаких следов, кроме изменений состояния самого микробного сообщества.

Сегодня делаются только первые шаги в изучении микробиологических свойств почв и культурных слоев поселений. Имеется лишь ряд работ О.Е. Марфениной с коллегами, где предпринимается попытка обоснования информационных возможностей «биогенных носителей почвенной памяти» [Марфенина и др., 2008, с. 850] применительно к культурным слоям древних поселений [Марфенина и др., 2001, с. 855–859; Марфенина, 2003, с. 88–93; Иванова и др., 2006, с. 62–71]. Авторами установлены значительные изменения в количестве и структуре почвенных грибов как результат древнего антропогенного воздействия, последствия которого сохраняются в сообществе почвенных микроскопических грибов до настоящего времени.

Вместе с тем практически отсутствуют сведения о ферментативной активности почв и культурных слоев поселений. Хотя следует ожидать, что именно ферментативная активность культурного слоя может быть одним из индикаторов поступления в почву поселений различных материалов органической природы. Сопоставление данных ферментативной активности культурного слоя и результатов исследования его химических свойств может вывести реконструкции

¹ Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 12-06-00272 «Естественно-научные основы типологии заполнения котлованов средневековых построек».

Химические и микробиологические свойства культурных слоев поселений кобанской культуры...

использования территории на качественно новый уровень. Решению этого вопроса и посвящена настоящая работа.

Район, объекты и методы исследований

Объекты исследований расположены в южной части Кисловодской котловины (рис. 1). В орографическом отношении это куэстовая область Скалистого хребта — Кабардинский хребет с максимальными высотами до 1600 м, являющийся частью северного склона Главного Кавказского хребта. Территорию котловины с севера ограничивает Боргустанский хребет (высота до 1200 м), с востока — Джинальский хребет (высота до 1500 м), сложенные мелоподобными известняками позднемелового периода и представляющие собой отроги Пастбищного хребта Большого Кавказа [Милановский, 1968, с. 484].

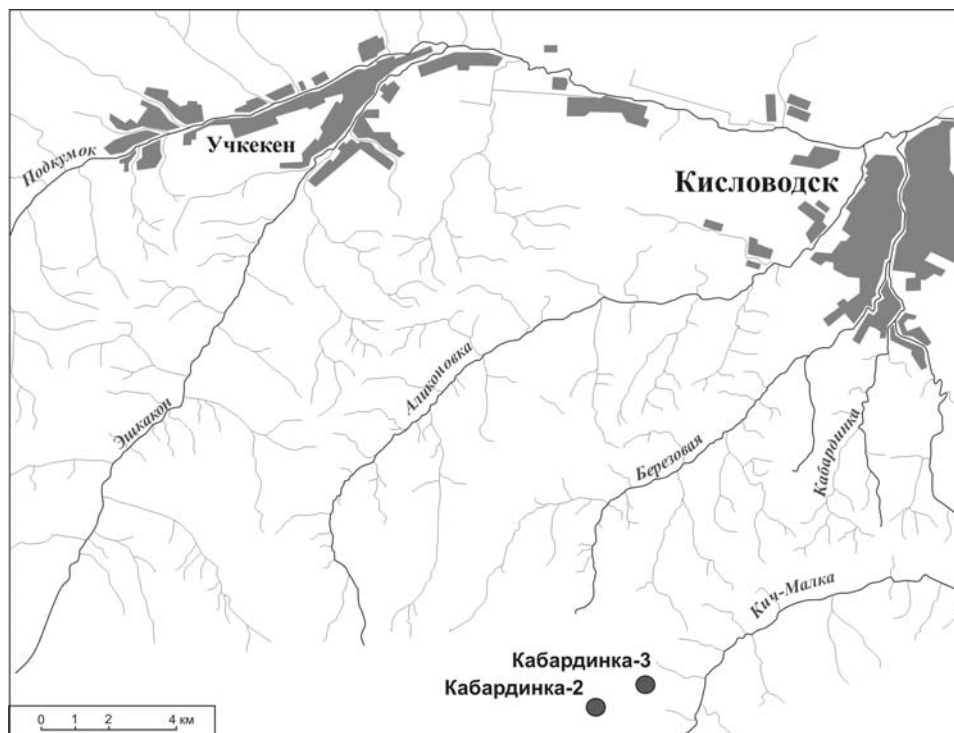


Рис. 1. Район исследований и местоположение памятников

Климат региона умеренно-континентальный, среднегодовая температура составляет около +8 °С, среднегодовое количество осадков 600 мм, из них большая часть выпадает весной и в начале лета [Агроклиматические ресурсы..., 1971, с. 24]. Почвенный покров представлен мало- и среднетощными дерново-карбонатными выщелоченными и типичными почвами на элювии известняков и мало- и среднетощными горными черноземами на элюво-делювии глин и песчаников нижнего мела.

Палеопочвенные исследования проводились на поселениях с симметричной планировкой Кабардинка-2 и Кабардинка-3, относящихся к кобанской культуре позднего бронзового — раннего железного веков.

Данный тип памятников, неизвестный ранее, был впервые открыт Д.С. Коробовым в 1999 г. Уже к 2004 г. на аэрофотоснимках были обнаружены 12 новых аналогичных поселений. Для них характерно устройство центральной площади овальной или прямоугольной формы, окруженной по периметру рядом построек с примыкающими друг к другу стенами. Особенность облика данных памятников, созданных по единому плану на основе симметрично расположенных по обеим сторонам главной оси построек, обусловила их название — поселения с симметричной планировкой. К настоящему времени по результатам дешифрирования аэрофотосъемов, проведенного А.Б. Белинским (ГУП «Наследие» Минкультуры Ставропольского края) и С. Райнхольд, выявлено 220 подобных памятников, расположенных в верховьях Кумы и Подкумка, большин-

ство из которых проверено в поле в ходе разведочных работ. В результате установлено, что все эти поселения расположены к югу от Кисловодска, на плоскогорье, на высоте 1400–2400 м — в местах, считавшихся ранее абсолютно непригодными для постоянного обитания и потому практически неисследованных [Белинский и др., 2009].

В 2004–2008 гг. осуществлялись ограниченные по площади археологические раскопки, в ходе которых было исследовано несколько построек на поселении Кабардинка-2. Предварительная информация о радиоуглеродном возрасте исследованной части поселения позволяет отнести ее существование к XIII–IX вв. до н.э. [Белинский и др., 2009]. Именно это поселение было выбрано в качестве основного объекта при проведении палеопочвенных исследований.

Поселения Кабардинка-2 и Кабардинка-3 расположены на высоте 1460–1470 м. Растительный покров — разнотравно-злаковый. Почва — чернозем горный маломощный. Мощность почвенного профиля от 30 до 50 см. Почвообразующие породы представлены известковистым песчаником. К моменту проведения раскопок были заметны слабо задернованные развалы стен, обозначающие контуры домов и площадей. Высота развалов до 0,5 м.

Ввиду малой мощности почвенного профиля и высокой биологической активности культурный слой на территории поселения Кабардинка-2 не образует отдельного визуального массива и фиксируется лишь по присутствию большого количества керамики, которая сосредоточена преимущественно в горизонте АС современной почвы. Поэтому, говоря о культурном слое поселения, мы подразумеваем горизонт АС современной почвы, сформировавшейся на территории памятника. Предполагалось, что именно в этом горизонте свойства почв наиболее сильно изменены в результате антропогенной нагрузки в прошлом. Поэтому из него отбирались образцы для химических и микробиологических исследований.

Во избежание нарушения культурного слоя отбор образцов почв проводился из микрошурфов размером 30×30 см и глубиной до подстилающей породы (в среднем 30–40 см) в присутствии археологов с фиксацией всех обнаруженных в микрошурфах артефактов.

Мы не анализировали грунт из вышележащих слоев в микрошурфах, предполагая, что его свойства в большей степени связаны с современными почвенными процессами. Для корректного сравнения в современных фоновых почвах отбирались образцы также из горизонта АС.

Образцы современных фоновых почв отбирались на различных участках микрорельефа: в слабо выраженной микрозападине (микрошурф 6), на водораздельном участке с незначительным уклоном (микрошурф 7) и на склоне крутизной до 5° (микрошурф 8). Анализировался усредненный образец. Кроме того, анализировались почвы в непосредственной близости к поселению (микрошурф 9) на расстоянии 20 м от развалов построек.

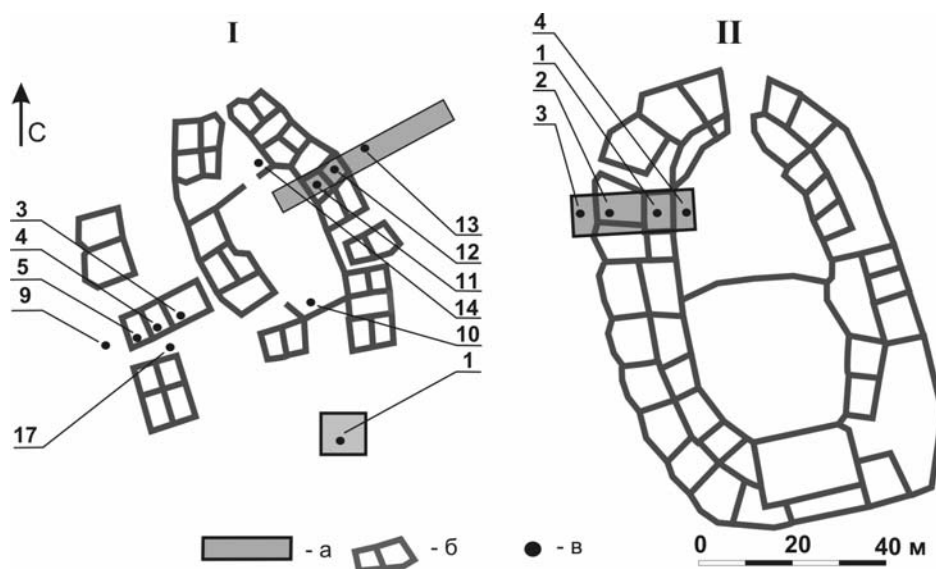


Рис. 2. Схемы отбора образцов на поселениях Кабардинка-2 (I) и Кабардинка-3 (II): а — участки систематического отбора образцов; б — контуры развалов стен; в — расположение микрошурфов (номера микрошурфов — см. табл. 1)

Химические и микробиологические свойства культурных слоев поселений кобанской культуры...

На территории собственно поселения Кабардинка-2 отбирались образцы культурного слоя из следующих объектов (рис. 2, I).

«Отдельно стоящий дом» (микрошурф 1). Развалы стен этой постройки находятся на некотором удалении от поселка, вне общей схемы его организации; но подобный объект обнаруживается практически на всех поселениях симметричной планировки с помощью магниторазведки.

«Дом 15» (микрошурфы 3–5). Представляет собой развалы трех примыкающих друг к другу построек, образующих единый комплекс. Образцы отбирались в каждой «комнате» дома.

«За стеной дома 15» (микрошурф 17) — участок был выбран в связи с тем, что здесь эрозийные процессы замедлены. Ниже по склону расположена южная стена дома 15, которая в данном случае является естественным барьером, регулирующим поверхностный сток. В результате на данном участке создаются условия для аккумуляции мелкозема. Предполагалось, что в нижней части профиля почвы культурный слой наибольшей сохранности.

«Центральная площадь» (микрошурф 10) представляет собой замкнутое пространство овальной формы, окруженное одним или двумя рядами построек.

«Малая площадь» (микрошурф 14) представляет собой ограниченное пространство, расположенное у входа на поселение и отгороженное стеной от центральной площади.

«Дом 7». Состоит из двух комнат, условно называемых «Внешний дом» (микрошурф 12) и «Внутренний дом» (микрошурф 11), и является наиболее типичным сооружением, характерным для данного типа поселений в целом.

«Мусорная свалка» (микрошурф 13). Это рабочее название участка, расположенного за пределами поселения на расстоянии 20–30 м в виде полосы шириной до 20 м, повторяющей контуры поселения. Эта территория была выявлена по большому количеству керамики, лежащей на поверхности почвы, а также по результатам геофизических изысканий.

На поселении Кабардинка-3 отбирались образцы из следующих объектов по аналогии с поселением Кабардинка-2: «Внутренний дом» — микрошурф 1; «Внешний дом» — микрошурф 2; «Фон вблизи поселения» — микрошурф 3; «Центральная площадь» — микрошурф 4 и «Отдельно стоящий дом» — микрошурф 5 (рис. 2, II).

На участках систематического отбора образцов проводилось бурение до почвообразующей породы с помощью почвенного бура по сетке с шагом 2 м на поселении Кабардинка-2 и с шагом 1 м на поселении Кабардинка-3; отбирался образец из горизонта АС. Образцы на микробиологические анализы отбирали с соблюдением условий стерильности в полиэтиленовые пакеты. До выполнения анализов образцы хранились при температуре 15–18 °С.

Методы исследований

В образцах почв из микрошурфов определяли содержание органического углерода по методу Тюрина [Аринушкина, 1970, с. 130–136], подвижных форм фосфатов по методу Б.П. Мачигина [Там же, с. 132–134], карбонатов по общепринятой методике [Там же, 1970, с. 166–167]. Измерение величины магнитной восприимчивости проводилось с помощью каппаметра — Карраmeter КТ-5 (полевые измерения) и Карраbridge KLY-2 (лабораторные измерения). Валовое содержание химических элементов определяли с помощью рентген-флуоресцентного анализатора МАКС-GV.

Для определения кератинолитической активности почвы использовался метод приманок [Методы почвенной микробиологии..., 1991, с. 47]. Количество кератинолитических грибов оценивалось в условных баллах по плотности образования мицелия.

Результаты и обсуждение

Результаты химических анализов почв поселения Кабардинка-2 представлены в табл. 1. Как видно из табл., максимальное содержание фосфатов наблюдается в горизонте АС в почве на месте мусорной свалки поселения (9,6 мг/100 г почвы). Это свидетельствует о том, что в данном месте в почву поступало наибольшее количество органического вещества, богатого фосфором. При этом содержание органического углерода здесь находится на уровне фоновых значений.

Современные фоновые почвы характеризуются низким содержанием фосфатов; на территории поселения содержание фосфатов во всех случаях выше.

В комплексе 15 обращают на себя внимание постройки 15/1 и 15/2, где в горизонте АС отмечено повышенное содержание фосфора и органического углерода, в то время как в культурном слое постройки 15 содержание фосфатов находится на уровне фоновых значений, как и в том же горизонте в почве отдельно стоящего дома.

Химические свойства почв и культурного слоя поселений

| № микрошурфа | Описание | Подвижные фосфаты, мг/100 г почвы | С орг., % | CaCO ₃ , % |
|-------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|-----------|-----------------------|
| Поселение Кабардинка-2 | | | | |
| 8 | Фоновые почвы | 1,9 | 2,5 | 2,0 |
| 9 | Фон вблизи поселения | 2,7 | 4,9 | 2,7 |
| 17 (1) | За стеной дома 15 (0–20 см) | 6,6 | 5 | 1,4 |
| 17 (2) | За стеной дома 15 (20–40 см) | 4 | 3,7 | 1,4 |
| 17 (3) | За стеной дома 15 (40–60 см) | 4 | 3,7 | 1,1 |
| 17 (4) | За стеной дома 15 (60–80 см) | 4,8 | 3,5 | 1,4 |
| 10 | Центральная площадь | 3,8 | 3,1 | 0,9 |
| 13 | Мусорная свалка | 9,6 | 4,5 | 2,0 |
| 14 | Малая (северная) площадь | 7,6 | 6,1 | 2,0 |
| 1 | Отдельно стоящий дом | 2,4 | 5,8 | 2,3 |
| 3 | Дом 15 | 2,3 | 3,7 | 2,3 |
| 4 | Дом 15/1 | 5,3 | 5,9 | 2,3 |
| 5 | Дом 15/2 | 4,7 | 4,5 | 1,4 |
| 11 | Дом 7 (Внутренний дом) | 2,8 | 4,3 | 3,2 |
| 12 | Дом 7а (Внешний дом) | 3,6 | 4,7 | 7,0 |
| Поселение Кабардинка-3 | | | | |
| 1 | Внутренний дом | 3,1 | 4,3 | 1,3 |
| 2 | Внешний дом | 3,9 | 4,2 | 1,3 |
| 3 | Фон вблизи поселения | 2,6 | 4,4 | 2,2 |
| 4 | Центральная площадь | 2,7 | 2,9 | 1,7 |
| 5 | Отдельно стоящий дом | 2,6 | 5,1 | 2,4 |

На центральной площади поселения содержание фосфатов и органического углерода в горизонте АС незначительно превышает фоновые значения. В почве малой (северной) площади, напротив, содержание фосфатов весьма велико и достигает 7,6 мг/100 г, при высоком содержании органического углерода. Это указывает на высокую антропогенную нагрузку на почву в данном месте и возможное специфическое использование данной территории.

В микрошурфе за стеной дома 15 значения содержания фосфатов и органического углерода существенно варьируются с глубиной. Как было указано выше, на данной территории эрозийные процессы замедлены. В слое 0–20 см отмечается самое высокое содержание фосфатов и органического углерода, что характерно для верхнего слоя современных почв в целом. В более глубоких горизонтах эти показатели снижаются, но на глубине 60–80 см наблюдается очередное возрастание содержания фосфатов. Вероятно, этот слой является верхним горизонтом почвы во время существования поселения, в то время как вышележащие слои образовались в результате привноса эрозийного материала и представляют собой делювиальный нанос.

В постройке 7 поселения Кабардинка-2 некоторой обогащенностью фосфатами отличается горизонт АС почвы во внешнем доме. Во внутреннем доме содержание фосфатов на глубине залегания культурного слоя на уровне фоновых значений. Такая же закономерность выявлена и для поселения Кабардинка-3: здесь также отмечена некоторая обогащенность фосфатами культурного слоя внешнего дома.

Результаты определения содержания химических элементов в культурном слое поселения Кабардинка-3 представлены в табл. 2.

Из полученных данных следует, что культурный слой внешнего дома обогащен натрием, магнием, фосфором, серой, кальцием, марганцем. В почвах центральной площади, так же как и в почвах внутреннего дома, содержание микроэлементов на уровне фоновых значений, что свидетельствует о незначительном попадании материала антропогенной природы на данных участках поселения.

Участки систематического отбора образцов

На поселении Кабардинка-2 на участке 10×70 м, включающем часть центральной площади, внутренний и внешний дома постройки 7, прилегающую к поселению территорию и мусорную свалку, проводился систематический отбор образцов с помощью почвенного бура из горизонта АС по сетке с шагом 2 м. Кроме того, образцы отбирались в районе отдельно стоящего дома.

Химические и микробиологические свойства культурных слоев поселений кобанской культуры...

На поселении Кабардинка-3 систематический отбор образцов проводился с шагом 1 м на участке 10×30 м. Участок опробования на данном поселении включал часть центральной площади, внутренний и внешний дома и прилегающий к поселению участок (рис. 3).

Таблица 2

Содержание химических элементов в культурном слое поселения Кабардинка-3 (%)

| | Внутренний дом | Внешний дом | Центральная площадь | Фон |
|--------------------------------|----------------|-------------|---------------------|--------|
| Na ₂ O | 0,753 | 1,073 | 0,692 | 0,644 |
| MgO | 1,262 | 1,746 | 1,327 | 1,220 |
| Al ₂ O ₃ | 14,214 | 16,253 | 17,199 | 17,178 |
| SiO ₂ | 56,764 | 53,301 | 52,835 | 56,124 |
| P ₂ O ₅ | 0,471 | 0,673 | 0,344 | 0,310 |
| S | 0,125 | 0,229 | 0,119 | 0,074 |
| K ₂ O | 1,613 | 1,243 | 1,341 | 1,496 |
| CaO | 2,109 | 4,105 | 1,945 | 1,451 |
| TiO ₂ | 0,398 | 0,348 | 0,369 | 0,424 |
| MnO | 0,333 | 0,474 | 0,341 | 0,390 |
| Fe ₂ O ₃ | 8,543 | 10,713 | 9,596 | 10,090 |
| Ni | 0,0063 | 0,0063 | 0,0064 | 0,0063 |
| Cu | 0,0063 | 0,0062 | 0,0063 | 0,0062 |
| Zn | 0,0089 | 0,0088 | 0,0055 | 0,0063 |
| As | 0,0012 | 0,0013 | 0,0013 | 0,0013 |
| Sr | 0,0268 | 0,0351 | 0,0325 | 0,0301 |
| Pb | 0,0037 | 0,0039 | 0,0028 | 0,0031 |

В образцах определяли величину магнитной восприимчивости и содержание подвижных фосфатов. Предполагалось, что повышенным уровнем магнитной восприимчивости должны были характеризоваться места разведения огня. Однако таким способом нам не удалось их обнаружить, несмотря на обилие прокаленного песчаника и мелких угольков в почве. Вероятно, почвенный слой под очагами отсутствовал, а пирогенные отходы удалялись из построек. В то же время данный метод позволил выявить интересную особенность — магнитная восприимчивость культурного слоя внутреннего дома значительно выше, чем внешнего. Это превышение отмечено на обоих поселениях.

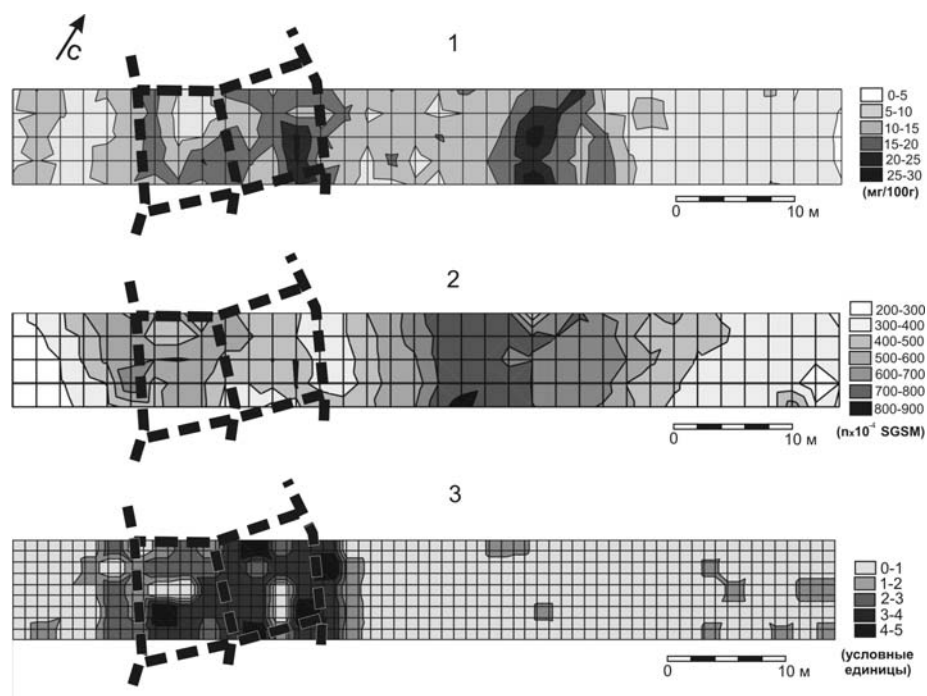


Рис. 3. Содержание подвижных фосфатов (1), величина магнитной восприимчивости (2) и уреазная активность (3) в почвах поселения Кабардинка-2. Пунктиром показаны развалы стен построек

Наиболее сильное возрастание магнитной восприимчивости характерно для участка мусорной свалки. Высокие значения магнитной восприимчивости могут объясняться попаданием в почву большого количества обожженного материала, керамики, угля и золы, а также благоприятными условиями для жизнедеятельности почвенной микробиоты, в том числе бактерий-железоредукторов [Алексеев и др., 2002, 2003]. Подобные участки, отстоящие на 20–30 м от крайнего ряда построек, выделены на нескольких поселениях с симметричной планировкой по данным магнитометрии [Reinhold et al., 2007, S. 148–153, Abb. 12–13].

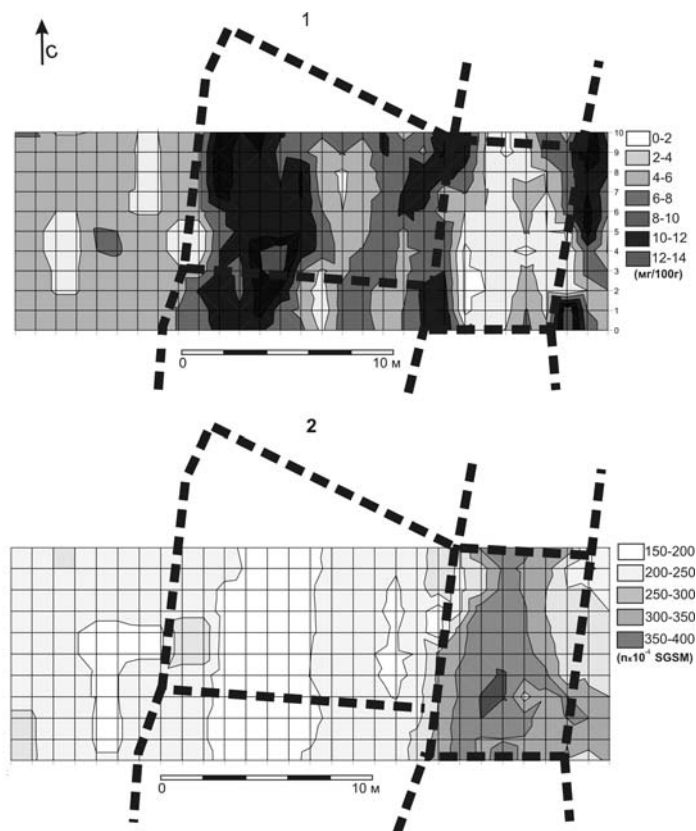


Рис. 4. Содержание подвижных фосфатов (1) и величина магнитной восприимчивости (2) в почвах поселения Кабардинка-3. Пунктиром показаны развалы стен построек

Содержание фосфатов на участках систематического отбора образцов существенно варьировалось. Максимальное обогащение фосфатами отмечено на участке предполагаемой мусорной свалки на расстоянии около 18–20 м от крайнего дома. Следует отметить, что подобная картина распределения фосфатов с заметным превышением их содержания за пределами поселений, на некотором удалении от построек, наблюдалась при изучении многих поселенческих памятников разного возраста [Веллесте, 1952; Демкин, Дьяченко, 1994; Детюк, Тараненко, 1997; Микляев, Герасимова, 1968; Bekkevig, 1980; Conway, 1983; Edvards et al., 1983; Edit, 1977; Sanchez, Canabate, 1996; Holliday, Gartner, 2007].

В комплексе построек отмечено обогащение фосфатами культурного слоя внешнего дома, причем внутри дома фиксируются участки с различным содержанием фосфатов, что также связано, по-видимому, со сложной организацией внутреннего пространства помещения. В культурном слое внутреннего дома содержание фосфатов на уровне фоновых значений.

Аналогичная в целом ситуация отмечена для поселения Кабардинка-3 (рис. 4). Как и в рассмотренном выше случае, внешний дом отличается максимальной обогащенностью фосфатами, при этом внутри самой постройки значения содержания фосфатов существенно варьируются. Очевидно, это варьирование связано с особенностями использования внутреннего пространства дома. Значения магнитной восприимчивости, как на поселении Кабардинка-2, максимальны для внутреннего дома; при этом содержание фосфатов здесь не превышает фоновых значений.

Микробиологические свойства культурного слоя поселений

Одной из основных задач данного исследования являлась реконструкция хозяйственной деятельности на территории поселений в древности. Уже с момента открытия поселений с симметричной планировкой предполагалось, что на них содержался скот. На эту мысль навел сам факт большого огороженного пространства — центральной площади. Однако подтвердить предположение о содержании скота на определенных участках древних поселений с помощью инструментальных методов оказалось довольно сложно. Скот не оставляет после себя никаких минеральных следов, а органические продукты жизнедеятельности животных включаются в биологический круговорот и ассимилируются растениями и почвенной микробиотой. А так как все археологические поиски связаны с минеральными или минерализованными субстратами, методическая база идентификации поступления в почву органических веществ весьма слабо разработана.

В нашем исследовании мы исходили из предположения, что при содержании скота в почву попадает шерсть и навоз в количествах, на несколько порядков превышающих фоновые значения.

Попадание шерсти в почву способствует увеличению численности почвенных грибов, разлагающих кератин — чрезвычайно прочные серосодержащие биополимеры белковой природы, входящие в состав волос, шерсти, кожи животных и человека. Для определения плотности кератинолитических грибов в почве разработан метод приманок [Методы почвенной микробиологии..., 1991, с. 47], суть которого заключается в следующем. Почву помещают в чашку Петри, увлажняют и на поверхность укладывают короткие фрагменты волос или шерсти. Чашки помещают в термостат. Через несколько недель на поверхности волоса появляется визуально заметный налет кератинолитических грибов. Об интенсивности кератинолитической активности судят по количеству заросших волос и интенсивности зарастания.

Применительно к археологическим объектам этот метод использовался в работах О.Е. Марфениной с коллегами [Марфенина и др., 2001, с. 855–859; Марфенина, 2003, с. 88–93; Иванова, 2006, с. 62–71]. В частности, показано, что культурном слое аланских памятников Кисловодской котловины максимальная кератинолитическая активность характерна для грунта пола жилых построек, значительно меньше она в грунте уличных проходов, перекрытий и обмазок [Иванова, 2006, с. 69].

Результаты определения кератинолитической активности почв поселения Кабардинка-2 представлены на рис. 5. Как следует из диаграммы, в фоновых почвах плотность кератинолитических грибов низкая и возрастает лишь в верхних горизонтах почвы на территории поселения. Обращает на себя внимание повышенная плотность кератинолитических грибов в микрошурфе у дома 15 на глубине 0–80 см. Напомним, что в этом слое отмечалось повышенное содержание фосфатов. Всплеск кератинолитической активности на этой глубине также может свидетельствовать, что этот слой являлся верхним горизонтом погребенной почвы во время существования поселения и претерпевал антропогенную нагрузку. Перекрывающий его делювиальный нанос характеризуется менее выраженной кератинолитической активностью.

Максимальная плотность кератинолитических грибов отмечается в почве на месте мусорной свалки. Это вполне соответствует представлениям о том, что в данном месте в почву с отходами попадало большое количество шерсти и других кератинсодержащих субстратов.

Показательно, что в почве на территории центральной площади и малой северной площади также отмечается очень высокая кератинолитическая активность. И если ее максимальные показатели на месте мусорной свалки могут быть объяснены присутствием кератинсодержащих субстратов с бытовым мусором и отходами жизнедеятельности человека, то столь значительная кератинолитическая активность почвы на центральной площади, вероятно, имеет иную природу. В культурном слое на центральной площади довольно низкая встречаемость керамики, костей и других включений, связанных с бытовым мусором. Поэтому попадание в почву кератина с бытовыми отходами следует исключить. Единственным источником кератина в данном случае можно считать содержание скота на площади, при этом в почву попадала шерсть непосредственно с животных, что и обусловило повышенный уровень кератинолитической активности.

В комплексе построек 15 ни в одной из них не было выявлено увеличения кератинолитической активности в культурном слое, что указывает на специфическое использование данных построек.

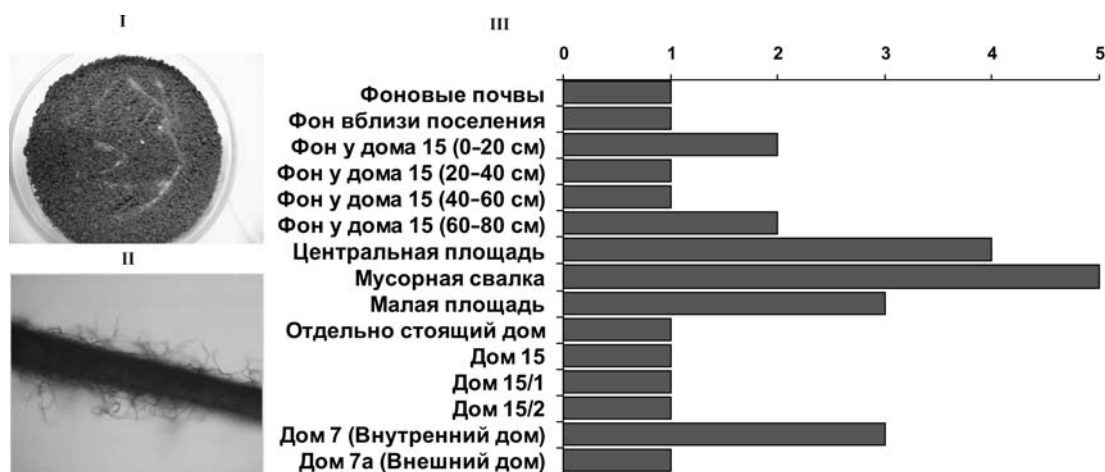


Рис. 5. Волосы с колониями кератинолитических грибов (I); гифы кератинолитических грибов на поверхности волоса (II) и плотность кератинолитических грибов в почвах поселения Кабардинка-2 после 5 недель инкубирования (III):

Условные единицы: 1 — единичные колонии; 2 — колонии покрывают до 20 % приманок; 3 — колонии покрывают до 50 % приманок, 4 — колонии покрывают более 50% приманок; 5 — колонии покрывают все приманки

Весьма интересны результаты определения кератинолитической активности культурного слоя внутреннего и внешнего дома. Так, во внешнем доме, культурный слой которого отличается повышенным содержанием фосфатов, кератинолитическая активность на уровне фоновых значений. В то же время во внутреннем доме, для которого характерно низкое содержание фосфатов, высокое содержание органического углерода и высокие значения магнитной восприимчивости, отмечена повышенная плотность кератинолитических грибов, что может свидетельствовать о значительных масштабах поступления кератинсодержащих субстратов в почву внутреннего дома.

Уреазная активность

Известно, что любой органический материал, оказавшись в почве, вызывает существенные изменения микробного сообщества. При этом значительно изменяется ферментативный пул почвы.

Одним из органических субстратов, в большом количестве поступающим в почву на территории поселений и способным изменять энзиматическую активность почв, является мочевины. Особенно значительные объемы мочевины поступают в почву в местах содержания скота. В природе разложение мочевины до аммиака и углекислого газа происходит с участием фермента уреазы, который продуцирует ряд почвенных микроорганизмов, в первую очередь уринобактерии. Конечный продукт гидролиза мочевины — аммиак и углекислый газ.

В данном исследовании впервые использовался метод определения уреазной активности культурного слоя с целью установления особенностей инфраструктуры поселений и выявления мест содержания скота.

Определение проводилось по следующей методике. Усредненный образец 5 г почвы естественной влажности в трех повторностях помещали в колбы объемом в 100 мл (2 полные пробы и 1 сравнительная). В полные пробы вносили 2,5 мл раствора мочевины², в сравнительную пробу — 2,5 мл воды. Колбы закрывали крышками и ставили на 2 ч в термостат при температуре 37 °С. После этого в полные пробы добавляли 50 мл экстракционного раствора, в сравнитель-

² Реагенты для определения уреазной активности. Субстратный раствор: мочевины 79,9 мМ (1,2 г мочевины растворить в 250 мл воды. Раствор хранится не более суток); экстракционный раствор: KCl (1 М) (74,6 г KCl растворить в 1000 мл воды при добавлении 10 мл 1 М HCl); NH₄-N исходный раствор: (1000 мкг NH₄-N/мл) (3,8207 г NH₄Cl растворить в 1000 мл воды). Реагенты: Merck Specktroquant тест-набор для определения аммония, номер в каталоге Merck — 1147520001. Приготовление калибровочных растворов. Из исходного раствора (1000 мкг NH₄-N/мл) приготовить в колбе объемом 100 мл разведение раствора с концентрацией 10 мкг NH₄-N/мл. Из этого разведения в колбах на 100 мл приготовить дальнейшие разведения с концентрацией 0,0; 0,2; 0,4; 0,8; 1,0 мкг NH₄-N/мл с добавлением 10 мл экстракционного раствора КС. Расчет активности уреазы ведется по разнице сначала между полной и сравнительной пробой (в мкг N/g сухой почвы за час) с учетом объема экстракционного раствора (52,5 мл), почвенной навески (5 г), фактора разбавления (10) и содержания сухой почвы в процентах.

Химические и микробиологические свойства культурных слоев поселений кобанской культуры...

ную пробу — 2,5 мл мочевины и 47,5 мл экстракционного раствора. Все три пробы закрывали крышками и взбалтывали на качалке 30 мин и фильтровали. Фильтраты разбавляли в пробирке водой в соотношении 1:10. Брали 2 мл разбавленного фильтрата и по 2 мл из каждого разведения калибровочного раствора и переносили в кювету. Затем добавляли реагенты 1 и 2 из тест-набора Merck Specktroquant. Тщательно перемешивали и оставляли на 5 мин. Затем добавляли 3 капли реагента 3 из набора, перемешивали и через 7 мин измеряли оптическую плотность раствора при 690 нм.

Результаты определения уреазной активности с помощью данного метода представлены в табл. 3. Уреазная активность культурного слоя поселения практически во всех контекстах превышает уреазную активность фоновых почв. Исключение составляет лишь эрозионно-аккумулятивный нанос, перекрывающий культурный слой за стеной дома 15, где уреазная активность была на уровне фона. Что касается верхних горизонтов современных почв на поселении и фоновых участков вблизи поселения, то здесь отмечено некоторое возрастание уреазной активности по мере приближения к памятнику. Максимальное же значение уреазной активности характерно для почв центральной площади (50 мкгN/г/ч). В этой связи можно предполагать, что центральная площадь использовалась в качестве места содержания скота. В определенной мере тот же вывод применим и для построек 7 и 15. Для сравнения было проведено определение уреазной активности почвы на месте заброшенного более 20 лет назад загона для скота. Уреазная активность в почвах загона почти на два порядка превышала показатели фоновых почв и составляла 766 мкгN/г/ч.

Экспресс-метод определения уреазной активности

Хорошо известно, что культурный слой отличается весьма значительной гетерогенностью; его свойства в каждой конкретной точке могут существенно отличаться от свойств на соседних участках, поэтому для получения достоверной картины пространственных изменений его свойств необходимо охватывать большую площадь и анализировать большое количество образцов. Традиционные методы определения уреазной активности дают высокую точность результатов, но достаточно длительны и трудоемки, что делает затруднительным их применение в практике археологических исследований, когда возникает необходимость проведения массовых определений. В настоящей работе предлагается экспресс-метод определения уреазной активности, позволяющий достаточно быстро определять на полуколичественном уровне ареалы с высокими значениями уреазной активности, анализируя несколько сотен образцов в день без применения сложного инструментального оборудования.

Суть метода состоит в следующем. 1 г почвы помещается в круглодонные пробирки и прибавляется 3 мл реакционной смеси. Для приготовления 100 мл реакционной смеси используют 50 мл 10%-ного раствора мочевины, 50 мл фосфатного буфера (рН 7,0), 1 мл 0,2%-ного раствора фенолового красного и 0,5 г хлорида натрия. Далее пробирки помещаются в термостат при температуре 37 °С. Конец инкубации определяется по переходу окраски реакционной смеси от желтой к малиновой. Концентрацию аммиака определяют визуально путем сравнения с калибровочными растворами. Для приготовления калибровочной шкалы в пробирки приливали 3 мл реакционной смеси и добавляли 20, 50, 80, 100 и 150 мкл 1%-ного раствора аммиака. Уреазную активность выражали условных баллах, для расчета которых концентрацию аммиака в той пробирке шкалы, которой соответствует цвет раствора определяемого образца, делили на количество часов инкубирования.

Очень важно остановить инкубирование и провести определение в тот момент, когда в первых пробирках розовый цвет надосадочной жидкости изменяется на малиновый и темно-малиновый. Если допустить дальнейшее инкубирование, это приведет к тому, что темно-малиновая окраска будет появляться со временем во всех пробирках в результате размножения уринобактерий и полученные сравнительные результаты не отразят исходное значение уреазной активности в почве.

Сопоставление результатов определения уреазной активности с помощью традиционного метода и экспресс-метода показали приемлемый уровень соответствия (табл. 3), что позволяет предложить экспресс-метод в качестве рабочего в практике почвенно-археологических исследований.

С помощью экспресс-метода было проведено определение уреазной активности почв и культурного слоя на участке систематического отбора образцов на поселении Кабардинка-2. Результаты представлены на рис. 3.

Уреазная активность почв поселения Кабардинка-2

| Образец | Активность уреазы, мкг/Н/г/ч | Активность уреазы, усл. ед. |
|---------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| | Колориметрический метод | Экспресс-метод |
| Фоновые почвы | 17 | 1 |
| Фон вблизи поселения | 34 | 4 |
| За стеной дома (0–20 см) | 28 | 2 |
| За стеной дома (20–40 см) | 15 | 1 |
| За стеной дома (40–60 см) | 14 | 1 |
| За стеной дома (60–80 см) | 24 | 1 |
| Центральная площадь | 50 | 5 |
| Мусорная свалка | 28 | 2 |
| Малая (северная) площадь | 30 | 1 |
| Отдельно стоящий дом | 36 | 3 |
| Дом 15 | 37 | 2 |
| Дом 15/1 | 24 | 1 |
| Дом 15/2 | 26 | 1 |
| Дом 7 (Внутренний дом) | 29 | 1 |
| Дом 7а (Внешний дом) | 31 | 3 |
| Загон для скота | 766 | >10 |

Как следует из диаграммы (рис. 3), максимальные значения уреазной активности характерны для ареалов, включающих развалы построек и прилегающую к ним часть центральной площади. При этом несколько большая уреазная активность отмечена во внутреннем доме. Что касается района мусорной свалки, то здесь не было выявлено зон повышенной уреазной активности. Результаты определения уреазной активности внутри отдельных домов свидетельствуют о сложной организации внутреннего пространства в домах, где, по всей видимости, имелись зоны проживания и зоны содержания скота.

Особенно заметны различия в почвенных свойствах на участке отдельно стоящего дома на поселении Кабардинка-2. Результаты определения содержания фосфатов указывают на довольно слабый антропогенный прессинг, хотя и дают основание выделить контуры постройки (рис. 6, I), которая в настоящее время не прослеживается в рельефе и была обнаружена лишь магниторазведкой.

С помощью экспресс-метода определения уреазной активности контуры постройки были установлены более четко, при этом значения уреазной активности в культурном слое отдельно стоящего дома оказались выше, чем в культурном слое на других участках этого поселения (рис. 6, II). На основании полученных данных можно довольно уверенно говорить об использовании этой постройки как загона для скота.

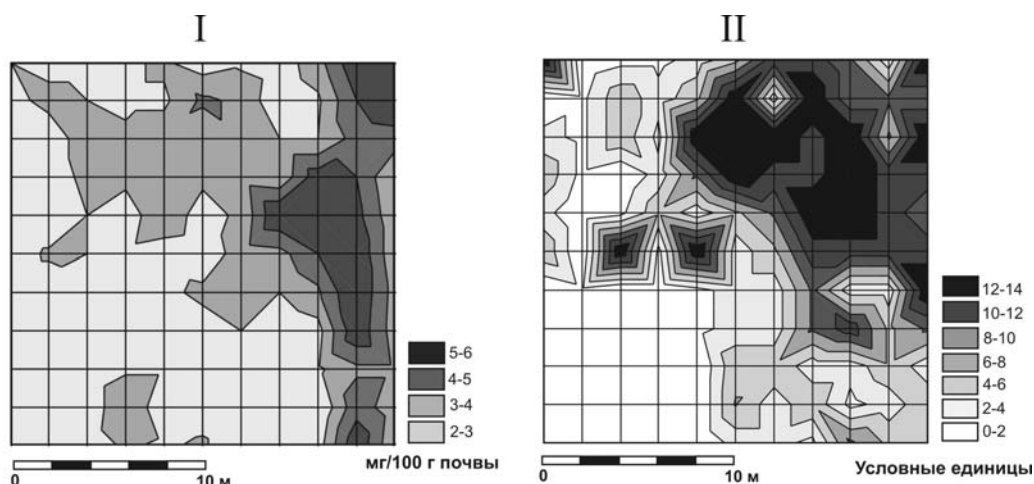


Рис. 6. Содержание фосфатов (I) и уреазная активность (II) культурного слоя отдельно стоящего дома на поселении Кабардинка-2

Заключение

Антропогенное влияние на почвы, имевшее место более 3000 лет назад, привело к изменению физико-химических и биологических свойств горизонта АС. Эти изменения сохранились до настоящего времени, несмотря на высокую биологическую активность почв и включение культурного слоя в современный почвообразовательный процесс. Селитебное воздействие поселения привело к формированию культурного слоя с повышенным содержанием фосфатов, натрия, магния, серы, кальция. Особенно заметно обогащение фосфатами почвы в месте предполагаемой мусорной свалки.

Методы почвенной микробиологии и энзимологии дают возможность выявлять в культурном слое поселений места содержания скота. В таких ареалах в почву поступали значительные объемы шерсти и мочевины, что вызывало всплеск численности кератинолитических грибов и уреазной активности.

Повышенная плотность кератинолитических грибов в почве, вероятнее всего, является универсальным индикатором проживания человека на данной территории и отражает общие закономерности интенсивности поступления в почву кератинсодержащих субстратов вне зависимости от источников кератинов (шерсть, волос, перо, кожа, ороговевшие ткани).

Активность уреазы является более селективным показателем, отражающим интенсивность поступления в почву исключительно мочевины. Всплеск численности уринобактерий при попадании в почву мочевины приводил к резкому увеличению количества выделяемого этими микроорганизмами фермента уреазы и изменению энзиматического пула почвы. Эти изменения сохраняются до наших дней. Совместное использование методов определения кератинолитической и уреазной активности почвы позволяет выявлять места содержания скота на древних поселениях.

Методы почвенной микробиологии и энзимологии могут найти весьма широкое применение в практике почвенно-археологических исследований для установления поступавших в почву различных субстратов органической природы, так как любой органический субстрат, попадая в почву, вызывает необратимые изменения структуры и активности почвенного микробного сообщества.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Агроклиматические ресурсы* Ставропольского края. Л.: Гидрометеорол. изд-во, 1971. 229 с.
- Ариушкина Е.В.* Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1970.
- Алексеев А.О., Алексеева Т.В., Заварзина Д.Г.* Роль железо-редуцирующих бактерий в формировании почвенного магнетита // *Органическая минералогия: Материалы I Рос. совещания по органической минералогии.* СПб., 2002. С. 55–56.
- Алексеев А.О., Алексеева Т.В., Махер Б.А.* Магнитные свойства и минералогия соединений железа степных почв // *Почвоведение.* 2003. № 1. С. 62–74
- Белинский А.Б., Коробов Д.С., Райнхольд С.* Ландшафтная археология на Северном Кавказе: Первые результаты исследования предгорного ландшафта Кисловодска эпохи позднего бронзового — раннего железного века // *Материалы по изучению историко-культурного наследия Северного Кавказа.* Вып. 9: Археология, краеведение. Ставрополь: Наследие, 2009. С. 177–220.
- Веллесте П.* Анализ фосфатных соединений почвы для установления мест древних поселений // *КСИИМК.* 1952. Вып. 42. С. 135–140.
- Демкин В.А., Дьяченко А.Н.* Итоги палеопочвенного изучения поселения «Ерзовка-1» в Волгоградской области // *РА.* 1994. № 3. С. 216–222.
- Детюк А.Н., Тараненко Н.П.* Анализ почв на содержание фосфатов как метод определения мест расположения древних поселений // *Естественнонаучные методы в полевой археологии.* 1997. Вып. 1. С. 43–58.
- Иванова А.Е., Марфенина О.Е., Кислова Е.Е., Зазоевская Э.П.* Микологические характеристики культурного слоя средневекового поселения на дерново-карбонатных почвах // *Почвоведение.* 2006. № 1. С. 62–71.
- Культурные слои археологических памятников: Теория, методы и практика: Материалы науч. конф.* / Отв. ред. А.А. Узянов. М., 2006. 306 с.
- Марфенина О.Е.* Возможности почвенно-микологической индикации древних антропогенных воздействий // *Проблемы эволюции почв: Материалы IV Всерос. конф.* Пущино, 2003. С. 89–94.
- Марфенина О.Е., Горбатовская Е.В., Горленко М.В.* Микологическая характеристика культурных слоев почв древнерусских поселений // *Микробиология.* 2001. Т. 70, № 6. С. 855–859.
- Марфенина О.Е., Иванова А.Е., Кислова Е.Е. и др.* Грибные сообщества почв раннесредневековых поселений таежно-лесной зоны // *Почвоведение.* 2008. № 7. С. 850–860.
- Методы почвенной микробиологии и биохимии.* М.: Изд-во МГУ, 1991. 304 с.

А.В. Борисов, С. Петерс, Е.В. Чернышева, Д.С. Коробов, С. Рейнхольд

- Микляев А.М., Герасимова Н.Г.* Опыт применения фосфатного анализа при разведке древних поселений на территории Псковской области // СА. № 3. 1968. С. 251–255.
- Милановский Е.Е.* Новейшая тектоника Кавказа. М.: Недра, 1968. 484 с.
- Bekkevig S.* Phosphate analysis in archaeology: Problems and recent progress // Norwegian Archaeol. Rev. 1980. Vol. 13. P. 2–15.
- Conway J.S.* An investigation of soil phosphorus distribution within occupation deposits from British hut group // Journ. Archaeol. Sci. 1983. 10. P. 17–28.
- Edit R.C.* Detection and estimation of anthroposols by phosphate analysis // Science. 1977. P. 134–136.
- Edwards K.J., Hamond F.W., Simms A.* The medieval settlement of Newcastle: An interdisciplinary approach // Proc. Roy. Irish Acad. 1977. 83 (14). P. 51–76.
- Holliday V., Gartner W.* Methods of soil P in archaeology // Journ. of Archaeol. Sci. 2007. 34. P. 301–333.
- Reinhold S., Belinskij A.B., Korobov D.S.* Landschaftsarh ologie im Nordkaukasus // Eurasia Antiqua. Zeitschrift f ur Arh ologie Eurasiens. Bd. 13. Mainz am Rhein: Verlag Philipp von Zabern, 2007. S. 139–180.
- Sahchez A., Canabate M.L.* Phosphorus analysis at archaeological sites: An optimization of the method and interpretation of the results // Archeometry. 1996. 38. Vol. 1. P. 151–163.

* Пущино, Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН
a.v.borisovv@gmail.com,
chernysheva1988@gmail.com

** Франкфурт-на-Майне, Германия, Гете Университет
Sw.Peters@em.uni-frankfurt.de

*** Москва, ИА РАН
dkorobov@mail.ru

**** Берлин, Германия, Германский археологический институт
sabine_reinhold@hotmail.com

Subject to investigation being chemical properties and enzyme activity of soils and cultural layers with regard to settlements of late Bronze Age (XIII–IX cc. BC) in the zone of mountain black earth in the vicinity of Kislovodsk. It is shown that the anthropogenic impact upon the soils taken place over 3000 years ago resulted in a considerable increase of traveling phosphates in the soil, thus changing the enzyme activity, which reflects specificity of the anthropogenic impact on the soils in different sites of the settlements.

Settlements, infrastructure, the Koban culture, soils, phosphates, keratinolytic fungi, ureasic activity.