На правах рукописи

ЧЕРНЫШЕВА ЕЛЕНА ВЛАДИСЛАВОВНА

ВЛИЯНИЕ ДРЕВНЕГО АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА БИОЛОГИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ ПОЧВ КИСЛОВОДСКОЙ КОТЛОВИНЫ

Специальность: 03.02.13 – Почвоведение

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата биологических наук

Воронеж 2015

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждение науки «Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения Российской академии наук» (ФГБУН ИФХиБПП РАН)

Научный руководитель: кандидат биологических наук
Борисов Александр Владимирович

Официальные оппоненты: **Марфенина Ольга Евгеньева,**
доктор биологических наук, профессор, Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, кафедра биологии почв, профессор

Стахурлова Лариса Дмитриевна,
кандидат биологических наук, доцент, Воронежский государственный университет, кафедра почвоведения и управления земельными ресурсами, доцент

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт географии Российской академии наук»

Защита диссертации состоится «06» мая 2015 года в 15 часов на заседании диссертационного совета Д 212.038.02 при Воронежском государственном университете по адресу: 394006, Воронеж, Университетская пл., 1.

Автореферат диссертации размещен на официальном сайте Минобрнауки Российской Федерации и сайте Воронежского государственного университета: http://www.science.vsu.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в зональной научной библиотеке Воронежского государственного университета.

Автореферат разослан «___» _____ 2015 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Брехова Любовь Ивановна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. В последние десятилетия резко усиливаются процессы деградации почв, что приводит к потере их биогеоценотических и биосферных функций, а также значительному сокращению биоразнообразия (Добровольский, Никитин, 2012). В этой связи особенно актуальным становится изучение масштабов трансформации почвенных свойств в результате антропогенного воздействия и способности почвы восстанавливать свои функции. В первую очередь это относится к микробным сообществам почв как наиболее чувствительному и динамичному компоненту почвы в условиях антропогенного стресса. Принимая во внимание, что почвенные микроорганизмы играют исключительную роль в круговороте вещества и энергии, самоочищении почвы, продуктивности фитоценозов и устойчивости экосистем в целом, одной из приоритетных задач современного почвоведения становится изучение трансформации микробных сообществ почв в условиях антропогенного прессинга и их восстановления до исходных параметров.

В то же время изучение вопросов восстановления почвенных свойств после снятия антропогенного стресса имеет ряд ограничений, связанных с большим временным масштабом, необходимым для протекания указанных процессов. Период наблюдений в условиях эксперимента явно недостаточен для прохождения микробными сообществами почв всех стадий восстановления.

Уникальными объектами, позволяющими изучать динамику микробных сообществ почв через сотни и тысячи лет после снятия антропогенного стресса, являются древние антропогенно-преобразованные почвы. В данном случае культурные слои археологических памятников (поселений) и почвы древних земледельческих угодий представляют собой природный эксперимент с известным местом, временем и характером антропогенного воздействия, что позволяет оценить особенности трансформации характеристик микробного сообщества почвы и степень их восстановления после снятия антропогенного стресса.

Цель исследований. Изучить влияние древнего антропогенного воздействия на биологическую активность почв на примере Кисловодской котловины.

Задачи исследований:

- изучить морфологические и химические свойства культурных слоев поселений аланской культуры и почв земледельческих угодий V–VIII вв. н.э., которые после этого не испытывали антропогенного влияния;
- исследовать биологическую активность почв, на которые оказывалось древнее селитебное или сельскохозяйственное воздействие;
- установить характер изменения отдельных параметров микробных сообществ почв в результате антропогенного воздействия в прошлом;
- выявить микробиологические индикаторы древнего антропогенного воздействия на почвы.

Научная новизна. Впервые дана комплексная характеристика биологической активности культурных слоев поселений аланской культуры (II–IV и V–VIII вв.

н.э.) в Кисловодской котловине, а также прилегающих к поселениям почв древних земледельческих угодий. Сравнение полученных данных с показателями фоновых почв, не подвергавшихся антропогенному воздействию, позволило установить, что антропогенная нагрузка, имевшая место 1500–1800 лет назад, обусловила значительную трансформацию почвенного микробного сообщества. Впервые показано, что за 1500 лет после снятия антропогенного прессинга микробные сообщества почвы не возвращаются к исходному состоянию.

Теоретическая значимость. Полученные результаты существенно расширяют имеющиеся представления о биологической памяти почв. Раскрывается информационный потенциал почвенной микробиоты как носителя сведений об антропогенном воздействие на почвы в прошлом и временные рамки сохранения сведений об этих воздействиях, записанных на разных уровнях организации микробного сообщества почвы.

Практическая значимость. Проведенные исследования биологической активности почв и культурных слоев позволят установить особенности трансформации микробных сообществ и ферментативной активности почв в результате селитебного и сельскохозяйственного воздействия. Разработанная в рамках данного исследования система диагностических показателей древнего антропогенного прессинга на почвы позволит выявить в современном почвенном покрове эталонные территории, не подвергавшиеся древнему антропогенному воздействию. Полученные данные могут быть использованы при оценке восстановления биологической активности почв после прекращения хозяйственной деятельности, при построении долгосрочных прогнозов развития антропогенно-преобразованных почв. Разработанные подходы для выявления факта сельскохозяйственного использования территории в древности и средневековье позволяют установить потенциальную хозяйственную зону древних поселений и уже нашли применение в практике археологических исследований.

Основные положения, выносимые на защиту:

- антропогенная нагрузка на почвы в древности вызвала значительные изменения их биологической активности, и эти изменения сохранились до наших дней;

- в почвах древних полей, на которые в V–VIII вв. н.э. вносились органические удобрения, сохранились жизнеспособные формы термофильных микроорганизмов;

- селитебное и сельскохозяйственное освоение территории обусловило увеличение содержания активной микробной биомассы, уреазной активности, а также численности сапротрофных и термофильных бактерий.

Апробация работы. Основные результаты исследований докладывались на Международной историко-археологической конференции, посвященной памяти С. Н. Братченко (Луганск, 2012); на Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Географические и геоэкологические исследования в Украине и сопредельных территориях» (Симферополь, 2013); на

Всероссийской научной конференции по археологическому почвоведению, посвященной памяти В. А. Демкина (Пущино, 2014); на XXVIII-ой Международной конференции по археологии Северного Кавказа «Крупновские чтения» (Москва, 2014); на 20-м Международном почвенном конгрессе (Республика Корея, 2014); на XIX-ой Всероссийской школе «Экология и почвы» (Пущино, 2014); на IV-ом (XX-ом) Всероссийском археологическом съезде (Казань, 2014), на Первой Международной конференции по почвенному биоразнообразию (Франция, 2014).

Публикации. По результатам исследования опубликовано 20 печатных работ, из них 4 статьи в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ для публикации результатов диссертационных работ.

Структура и объем диссертации. Представленная работа изложена на 173 страницах машинописного текста, содержит 24 таблицы, иллюстрирована 21 рисунком; состоит из введения, обзора литературы, описания физико-географических условий исследуемого региона, описания объектов и методов исследования, изложения полученных результатов и их обсуждения, заключения и выводов, списка литературы (включающего 212 источников, в том числе 113 на иностранном языке).

Благодарности. Автор глубоко признателен научному руководителю к.б.н. А. В. Борисову за поддержку и консультации при проведении научных исследований. Автор благодарит всех сотрудников лаборатории археологического почвоведения за практическую помощь и ценные советы на всех этапах выполнения работы. Автор выражает благодарность руководителю Кисловодской археологической экспедиции ИА РАН к.б.н. Д. С. Коробову за предоставленную возможность проведения полевых исследований; к.б.н., доц. Т. В. Кузнецовой за помощь в выполнении и консультации при проведении экспериментальной работы; к.б.н. С. Н. Удальцову и сотрудникам Центра коллективного пользования ИФХиБПП РАН за помощь в выполнении химико-аналитических работ.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Обзор литературы состоит из четырех разделов. В первом – охарактеризовано влияние антропогенной деятельности в древности на морфологические и химические свойства почв. Показано, что селитебная нагрузка приводит к изменению химических свойств культурных слоев древних поселений (Александровский и др., 1997; Сычева, 2006; Долгих, 2010; Герасимова и др., 2003; Естественно-научные…, 2004; Каздым, 2010), в частности к накоплению фосфатов (Eidt, 1977, 1984; Holliday, Gartner, 2007; Barda, 1994), изменению гранулометрического состава (Прокофьева и др., 2001; Соколова и др., 2005; Чижикова, 1991 и др.).

Изменение почвенных свойств в результате древнего сельскохозяйственного воздействия изучено в меньшей степени. Рассмотрены работы, в которых исследуются физико-химические индикаторы древнего земледелия (Lisetskii et

al., 2015), рассматривается процессы восстановления почвенно-ландшафтных условий при древнем сельскохозяйственном освоении территории (Delgado et al., 2007; Lisetskii, 2008; Lisetskii, Rodionova, 2012), физико-химических свойств деградированных почв древних и средневековых полей (Долотов, 1984; Лисецкий, 2008; Scalenghe et al., 2002; Sandor, Eash, 1995; Lisetskii te al., 2013), последствия древнего орошения (Костюченко, Лисицина, 1976; Лисицина, Костюченко, 1976). Кроме того, уделяется особое внимание исследованию древних земледельческих террас для изучения различных аспектов древнего земледелия (Борисов, Коробов, 2013; Ruecker et al., 1998; Sanchez-Maranon, 2002; Sandor, 2006; Goodman-Elgar, 2008; Sandor et al., 1990).

Во втором разделе рассмотрено влияние сельскохозяйственного освоения территории на биологическую активность почв, а именно влияние распашки почв и внесения органических удобрений. Предполагается, что этими приемами ограничивалось сельскохозяйственное воздействие на почвы в древности и средневековье. В работах разных авторов показано, что даже весьма непродолжительный срок использования пахотных почв без внесения органических удобрений приводит к уменьшению содержания микробной биомассы (Полянская и др., 1997; Лысак и др., 2004; Масютенко и др., 2008; Carter, 1985, 1991; Alvarez et al., 1995; Wardle, 1995; Kandeler, Bohm, 1996; Bardgett et al., 1996; Frey et al., 1999; Mikanova et al., 2009; Jiang et al., 2011), а также к изменению таксономической структуры бактериальных комплексов (Добровольская, 2001; Лысак и др., 2004; Ковалева и др., 2007). Через уменьшение содержания микробной биомассы происходит уменьшение ферментативной активности почв (Хазиев, 1982; Angers et al., 1993; Bandick, Dick, 1999; Kandeler et al., 1999a,b; Roscoe et al., 2000; Dumontet et al., 2001).

Поступление в почву разнообразных органических материалов в качестве удобрений обычно стимулирует микробиологическую активность, что приводит к увеличению содержания микробной биомассы и ферментативной активности почв. Наиболее значительное увеличение микробной биомассы происходит вследствие внесения навоза (Галстян, 1974; Полянская и др., 1997; Масютенко и др., 2008; McGill et al., 1985; Dick et al., 1992; Kandeler, Eder, 1993; Rasmussen et al., 1994; Guerrero et al., 2007; Moeskops et al., 2010; Liu et al., 2010; Giacometti et al., 2013). Также показано, что внесение в почву органических материалов приводит к резкому увеличению численности сапротрофных бактерий (Мишустин и др., 1979; Лысак и др., 2000) и появлению в значительных количествах специфических микроорганизмов, таких как термофилы (Мишустин и др., 1979).

В третьем разделе показаны особенности трансформации микробных сообществ почв под влиянием древнего антропогенного воздействия. Исследованиями О. Е. Марфениной, А. Е. Ивановой с коллегами установлены существенные отличия в свойствах сообществ микроскопических грибов антропогенно-преобразованных почв поселений по сравнению с фоновыми аналогами (Марфенина и др., 2001, 2008; Иванова и др., 2006).

Показано, что в местах длительного и компактного проживания людей, а также в местах содержания скота, может наблюдаться повышенный уровень

уреазной активности (Борисов и др., 2013; Чернышева и др., 2012; Гак и др., 2014). Рассмотрены вопросы влияния сельскохозяйственной обработки в XVI–XVII вв. на микробиологические свойства окультуренных почв монастырей (Новиков, Степанов, 2000; Лысак и др., 2004). Что касается изменения микробных сообществ окультуренных почв более раннего времени, то известна лишь одна работа, в которой показано, что в почве древней земледельческой террасы (около 1500 л.н.) сохранился высокий уровень фосфатазной и амидазной активности, превышающий уровень ферментативной активности целинной современной почвы и почвы, культивируемой в настоящее время (Dick et al., 1994).

В четвертом разделе описаны этапы заселения Кисловодской котловины. Показано, что для района исследований характерен лишь один этап освоения во II–VIII вв., после которого почвы не подвергались антропогенному воздействию.

ГЛАВА 2. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ

Кисловодская котловина расположена в центральной части северного склона Главного Кавказского хребта. Территорию котловины с севера ограничивает Боргустанский хребет (высота до 2000 м), с востока – Джинальский хребет (высота 1541 м), сложенные мелоподобными известняками позднемелового периода и представляющие собой отроги Пастбищного хребта Большого Кавказа. С юга и юго-востока территория котловины ограничена куэстами Скалистого хребта – Кабардинским хребтом с максимальной высотой до 1526 м, и Бермамытским плато, сложенными известковистыми песчаниками раннего мела (Милановский, 1968).

Климат региона умеренно-континентальный. Количество осадков составляет около 600 мм/год, большая часть которых выпадает в теплое время года. Среднегодовая температура около +8°С. Сумма температур выше 10°С составляет 2400–2600°; количество солнечных дней в году около 300 (Агроклиматические ресурсы…, 1971).

Почвенный покров представлен мало- и среднемощными дерново-карбонатными выщелоченными и типичными почвами на элювии мелоподобных известняков и горными черноземами выщелоченными и неполноразвитыми на элюво-делювии известковистых песчаников и мергелей, а также на лессовидных отложениях. В подсклоновых депрессиях, по днищам балок и на слабо дренированных участках развиты горные лугово-черноземные почвы (Быковская, Ковалева, 2010; Борисов, Коробов, 2013).

ГЛАВА 3. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами исследований послужили почвы и культурные слои следующих ключевых участков: Подкумское-2, Подкумское-3 и Подкумское-7 (рис. 1). В истории развития почв на этих объектах был лишь один этап антропогенного воздействия, и этот этап пришелся на аланскую эпоху (II–VIII вв. н.э.). Ни до, ни после этого, вплоть до настоящего времени, на территории исследуемых

ключевых участков не осуществлялась интенсивная хозяйственная деятельность, способная вызвать заметные изменения почвенных свойств. На всех ключевых участках исследуемые территории используются в качестве нерегулярных сенокосов и выпасов. В этом заключается уникальность исследуемых почв, представляющих собой образец залежи возрастом около 1500 лет.

В рамках данной работы объекты исследований можно разделить на два типа – культурные слои поселений и почвы древних земледельческих угодий.

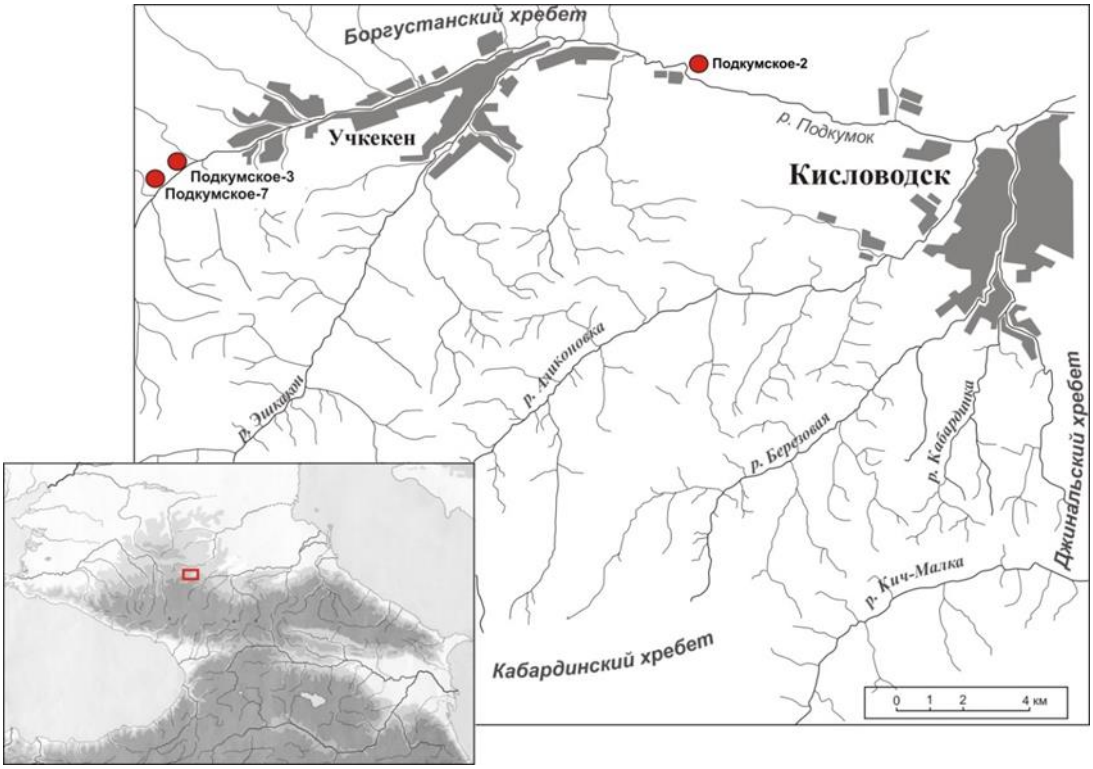

Рис.1. Расположение объектов исследований.

<u>Культурные слои поселений.</u> В качестве ключевого участка для изучения свойств культурных слоев поселений было выбрано укрепление Подкумское-2, датируемое ранним этапом аланской культуры II–IV вв. н.э. Укрепление занимает мысовую площадку подтреугольной формы общими размерами 140 × 165 м, расположенную на первой террасе левого берега р. Подкумок на участке с дерново-карбонатными типичными эродированными почвами на делювии мелоподобных известняков. На большей части поселения видны задернованные развалы стен построек. Эта часть поселения условно названа *«первой зоной освоения»*. Примерно 1/3 площадки с юго-западной стороны не имеет на поверхности видимых сооружений, что, вероятно, указывает на иной характер использования территории. Эта часть поселения условно названа *«второй зоной освоения»*.

Образцы культурного слоя на поселении отбирали из разрезов Б-338 (первая зона освоения с развалами стен) и Б-341 (вторая зона освоения без следов построек). Кроме того, в первой зоне освоения территории была заложена серия

зондажей. За пределами поселения были заложены разрезы на территории залежи (более 30-ти лет залежного состояния) и на пастбищном участке (разрезы Б-339 и Б-340 соответственно). Разрез фоновой почвы располагался на участке, ограниченном со всех сторон глубокими балками с крутыми склонами, благодаря чему исключается любое хозяйственное использование данной территории (разрез Б-341).

Почвы древних земледельческих угодий. Для изучения сельскохозяйственного воздействия в древности были исследованы почвы вблизи двух поселений более позднего времени Подкумское-3 и Подкумское-7, относящихся к периоду полного освоения Кисловодской котловины аланским населением в V–VIII вв. н.э. В окрестностях этих поселений была выявлена выраженная хозяйственная зона, которая маркируется большим количеством керамики в почвах. Керамика, предположительно попадающая в почвы вместе с навозом и бытовым мусором с поселений, может служить индикатором внесения органических удобрений (Wilkinson, 1982).

Поселения Подкумское-3 и Подкумское-7 расположены на мысовых участках в северо-восточной и юго-западной части куэсты, ограниченной с трех сторон балками и долиной р. Подкумок. Расстояние между поселениями около 3.5 км. На мысовых участках почвообразующими породами являются выходы плиты известковистого песчаника; водораздельная часть сложена алевритами и глинами, перестилаемыми бронирующими пластами плотных пород. Территория имеет естественный уклон на уровне 4–5°, что связано с общим для данного региона поднятием пластов горных пород при формировании Большого Кавказа. В этих условиях поля поселения Подкумское-3 занимают склон северной экспозиции с нормальным режимом грунтовых вод с преобладанием в почвенном покрове горных черноземов выщелоченных, в то время как поля поселения Подкумское-3 отрезаны от склона подсклоновой депрессией, что существенно изменяет водный режим почв на мысовом участке, приводя к развитию дерново-карбонатных эродированных почв и горных черноземов неполноразвитых.

Для исследования химических и микробиологических свойств почв древних полей была заложена серия почвенных разрезов на разном удалении от поселения: в зоне заведомого внесения удобрений, в зоне предполагаемого земледелия без внесения удобрений и на целинных участках. В разрезах проведено морфолого-генетическое описание почвенных профилей, отобраны почвенные образцы на химические и микробиологические анализы. Отбор образцов почв на микробиологические анализы проводили с соблюдением условий стерильности по генетическим горизонтам или по слоям через каждые 10 см.

В образцах почв проводили определение следующих показателей: pH водной вытяжки потенциометрическим методом; содержание органического углерода по Тюрину; содержание карбонатов ацидиметрическим методом; содержание фосфатов по Мачигину (Аринушкина, 1970); гранулометрический состав по Качинскому (Практикум…, 1973). Химико-аналитические работы были выполнены в Центре коллективного пользования ИФХиБПП РАН (рук. к.б.н. С. Н. Удальцов). Содержание валового фосфора определяли с помощью рентген-

флуоресцентного метода на анализаторе МАКС-GV. Определение подвижных минеральных форм азота проводили колориметрическим методом (Кудеяров, 1965; Бочкарев, Кудеяров, 1982).

Для изучения биологической активности почв и культурных слоев использованы следующие методы:

- определение суммарной микробной биомассы (**СМБ**) по численности микробных клеток методом люминесцентной микроскопии по Звягинцеву (Методы почвенной микробиологии…, 1991);
- определение микробной биомассы, дающей респираторный отклик на внесение глюкозы (активная микробная биомасса (**АМБ**)) по скорости субстрат-индуцированного дыхания (Anderson, Domsch, 1978);
- определение суммарной биомассы грибного мицелия (**СБГМ**) методом Хансена в модификации Демкиной и Мирчинк (Методы почвенной микробиологии…, 1991);
- определение уреазной активности колориметрическим методом (Kandeler, Gerber, 1988);
- определение целлюлазной активности аппликационным методом (Методы почвенной микробиологии…, 1991);
- определение численности сапротрофных и термофильных бактерий чашечным методом (Методы почвенной микробиологии…, 1991; Мишустин, Перцовская, 1954).

Расчеты содержания суммарной микробной биомассы, активной микробной биомассы и биомассы грибного мицелия проводили с учетом содержания в клетках 40% С и 80% H_2O (Anderson, Domcsh, 1980).

Полученные результаты статистически обработаны в программах MS Excel 2010 и Graphpad Prism 6.

ГЛАВА 4. ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ КУЛЬТУРНЫХ СЛОЕВ ПОСЕЛЕНИЙ И ПОЧВ ДРЕВНИХ ЗЕМЛЕДЕЛЬЧЕСКИХ УГОДИЙ

Культурные слои поселений. Селитебная нагрузка привела к существенному изменению химических свойств почв на поселении Подкумское-2, вследствие чего сформировался культурный слой, морфологически резко отличающийся от современных фоновых почв. Профиль гомогенный, без дифференциации на генетические горизонты, бесструктурный, насыщенный керамикой, костями и материалом почвообразующей породы, извлеченной из хозяйственных ям. Для культурного слоя на территории поселения характерно увеличение содержания подвижных фосфатов и валового фосфора. Наиболее заметное обогащение фосфатами было характерно для культурного слоя в предполагаемой жилой зоне. Кроме того, хозяйственная деятельность человека привела к увеличению содержания $N_{мин}$ ($N\text{-}NH_4^+{}_{обм}$ + $N\text{-}NO_3^-$), причем в наибольшей степени это было характерно для культурного слоя на участке, где предположительно содержался скот (табл. 1).

Таблица 1. Химические свойства и гранулометрический состав почв и культурных слоев поселения Подкумское-2

Разрез	Глубина, см	Влажность	$C_{орг}$	$CaCO_3$	pH вод	Содержание частиц, %		$N\text{-}NO_3^-$	$N\text{-}NH_4^+{}_{обм}$	P_2O_5	
		%				<0.01 мм	<0.001 мм	мг/100 г		Подв. мг/100 г	Вал. %
Б-342 (Фон)	0–10	4.9	5.4	41.8	7.9	14	3	0.82	1.10	3.21	н.д.
	10–22	4.1	3.5	50.9	8.0	15	3	0.43	0.90	2.84	н.д.
	22–33	2.4	1.3	58.3	8.1	25	10	сл.	0.21	1.54	н.д.
Б-338 (I зона)	0–10	5.7	5.0	20.9	7.9	10	4	2.73	0.94	4.90	н.д.
	10–30	8.6	3.1	21.1	7.9	11	4	1.72	1.74	5.24	н.д.
	30–40	4.1	3.2	44.9	8.2	17	5	0.27	0.33	2.96	н.д.
Б-341 (II зона)	0–10	4.3	5.6	44.9	8.0	12	4	1.26	1.70	5.31	0.73
	10–20	3.6	3.5	46.4	7.8	14	6	0.19	0.92	5.00	0.83
	20–30	3.3	2.5	48.5	8.0	16	7	0.08	0.49	5.12	0.94
	30–40	3.4	1.7	46.7	8.2	12	5	0.18	0.30	6.72	0.83
	40–50	3.3	1.7	44.9	8.3	19	7	0.10	0.31	9.81	1.06
	50–60	3.1	1.2	44.9	8.5	17	8	сл.	0.21	13.82	1.05
	60–70	2.6	1.2	47.9	8.4	22	8	сл.	0.25	8.24	0.79
	70–80	1.9	0.9	46.7	8.9	22	6	0.19	0.59	9.11	0.71
	80–90	2.2	1.5	47.9	8.0	21	9	0.18	0.21	7.12	0.80

* н.д. – нет данных; сл. – следы

Биологическая активность культурных слоев весьма существенно отличалась от фоновых почв ключевых участков (рис. 2, 3). Наиболее значительные изменения были выявлены в отношении ферментативной активности. Так, уреазная и целлюлазная активность культурных слоев была вдвое выше, чем фоновой почвы. При этом антропогенная нагрузка привела и к профильному изменению данного показателя. Если во всех почвах первой зоны освоения в подповерхностных слоях наблюдались достаточно высокие значения уреазной активности, то в почве второй зоны они были значительно ниже. Высокий уровень уреазной активности в культурных слоях первой зоны, скорее всего, связан с использованием построек в качестве загонов для скота, поскольку в почвах при внесении навоза и других органических удобрений происходит достоверное увеличение уреазной активности (Dick et al., 1988; Garcia et al., 1998; Kandeler et al., 1998; Liu et al., 2010; Moeskops et al., 2010). Эту часть территории поселения, таким образом, можно называть производственной. Вторая зона освоения, по всей видимости, была связана с проживанием населения, на что указывает мощный культурный слой, насыщенный артефактами, и наличие глубоких хозяйственных ям.

Селитебная антропогенная нагрузка привела к увеличению численности сапротрофных бактерий (рис. 2); существенное возрастание этого показателя относительно фоновой почвы зафиксировано в культурном слое как жилой, так и производственной зон поселения, что позволяет считать повышенную численность сапротрофов одним из маркеров селитебного освоения территории.

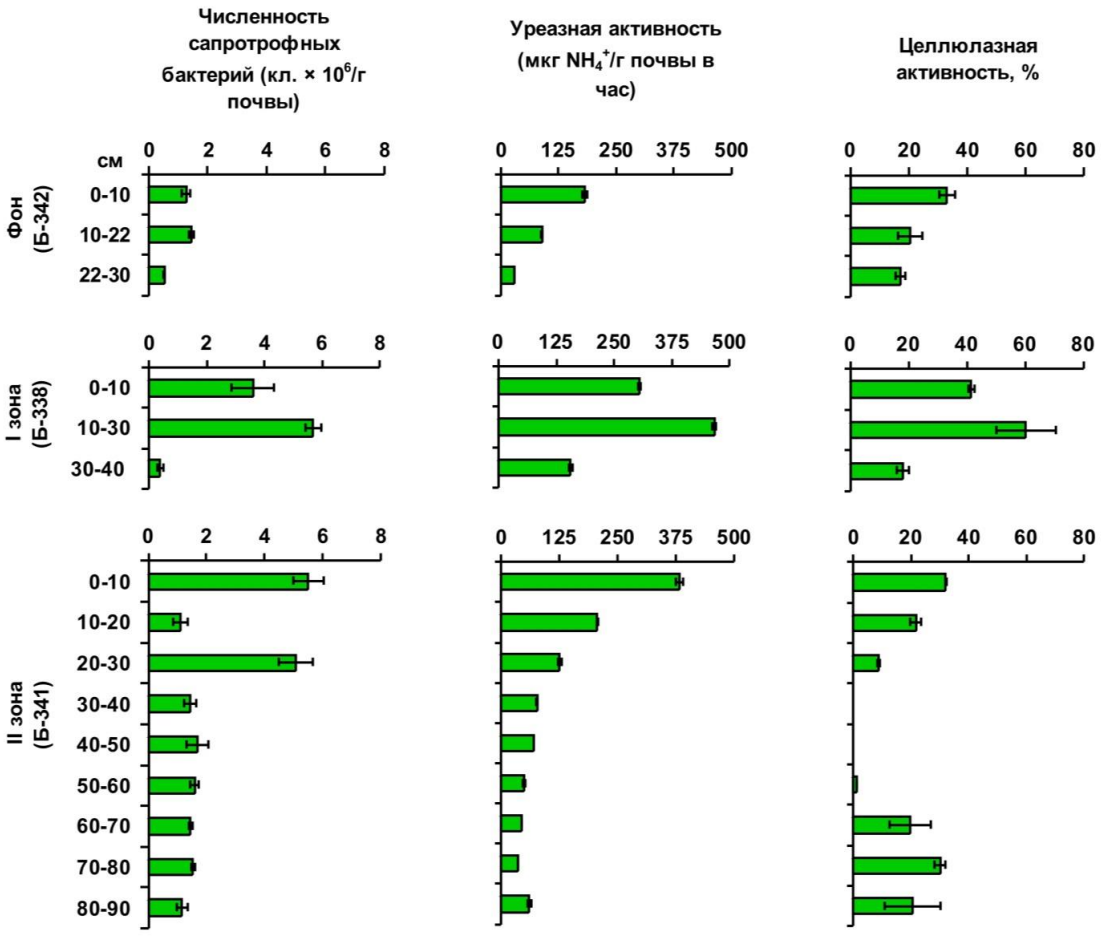

Рис. 2. Численность сапротрофных бактерий и ферментативная активность почв и культурных слоев ключевого участка Подкумское-2.

В культурных слоях поселения было выявлено уменьшение биомассы микроорганизмов, дающих респираторный отклик на внесение глюкозы, при этом значения данного показателя варьировали в зависимости от характера использования территории (рис. 3). Так, в культурных слоях производственной зоны активная микробная биомасса, как правило, была в 1.5 раза выше, чем в культурном слое жилой зоны.

Доля активной микробной биомассы от суммарной на территории поселения была максимальной в слое 0–10 см в жилой зоне, где она составляла 21%, а в нижележащих слоях эти значения не превышали 4% (рис. 3). В культурном слое производственной зоны доля АМБ составила 15% на глубине 10–30 см. В почве фонового участка доля активной микробной биомассы от суммарной, несмотря на высокое содержание последней, не превышала 14% в верхнем горизонте. Это говорит о том, что в фоновой почве большая часть микробного сообщества находится в покоящемся состоянии.

Суммарная биомасса микроорганизмов также существенно уменьшилась в результате антропогенной нагрузки (рис. 3). Так, в культурных слоях СМБ была в 1.6–2.5 раза ниже, чем в фоновой почве. Но, в целом, различия между культурными слоями и фоновой почвой по этому показателю были недостоверными.

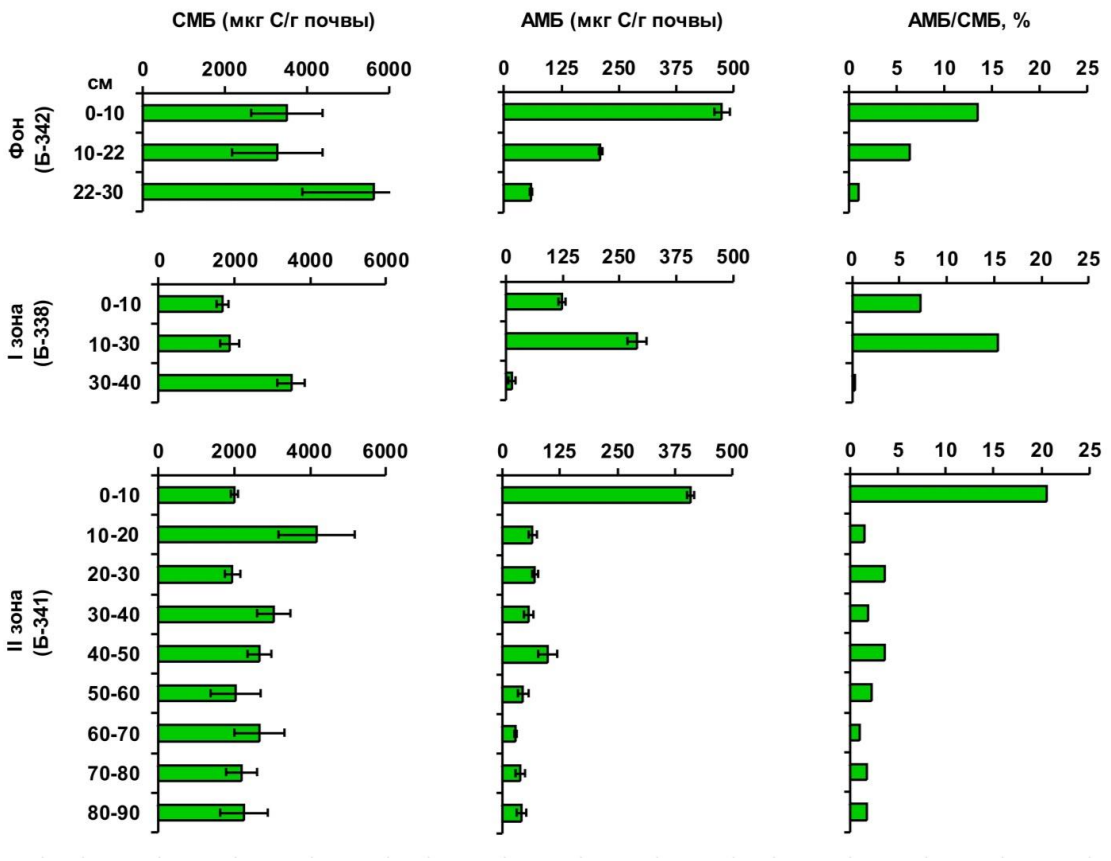

Рис. 3. Микробная биомасса почв и культурных слоев ключевого участка Подкумское-2 (СМБ – суммарная микробная биомасса, АМБ – активная микробная биомасса, СБГМ – суммарная биомасса грибного мицелия).

Что касается биомассы микроскопических грибов, то в культурных слоях поселения и фоновой почве различия в биомассе грибного мицелия были незначительными.

Также были рассчитаны показатели состояния микробного сообщества почвы (экофизиологические коэффициенты). К основным экофизиологическим коэффициентам относятся qCO_2 и $C_{мик}/C_{орг}$. Метаболический коэффициент qCO_2 является важным индикатором состояния микробного сообщества почв и используется в качестве индикатора устойчивости в условиях изменения окружающей среды, и представляет собой отношение скорости базального дыхания микроорганизмов к содержанию активной микробной биомассы в почве (Anderson, Domsch, 1990). Отношение $C_{мик}/C_{орг}$ также является чувствительным индикатором, указывающим на изменение доступности питательных веществ (Anderson, Domsch, 1986, 1989).

Для всех культурных слоев были характерны низкие значения $C_{мик}/C_{орг}$, что указывает на невысокую доступность источников углерода (Anderson, 2003). Относительное увеличение этого показателя было отмечено в фоновой почве, однако здесь наблюдались и высокие значения метаболического коэффициента qCO_2. Увеличение метаболического коэффициента в контрольных почвах отмечались и ранее другими авторами, что, по их мнению, было связано с

недостатком питательных веществ (Bohme et al., 2005). Высокие значения qCO_2 и низкие значения $C_{мик}/C_{орг}$ указывают на то, что микробное сообщество находится в стрессовых условиях. В культурном слое в зоне содержания скота метаболический коэффициент, в целом, соответствовал оптимальным условиям. В жилой зоне поселения наблюдалось существенное увеличение метаболического коэффициента, особенно в нижних горизонтах.

Закономерным проявлением древнего и современного антропогенного прессинга было ослабление корреляционной связи между показателями биологической активности и химическими свойствами почв.

Современные антропогенно-преобразованные почвы. На этом же ключевом участке рассматривалось влияние современного антропогенного воздействия (распашка и выпас) на химические и биологические свойства почв. Так же, как и в культурных слоях поселения Подкумское-2, в современных антропогенно-преобразованных почвах наблюдалось накопление подвижных фосфатов и азота в нитратной форме. Причем, максимальное накопление $N\text{-}NO_3^-$, было характерно для почвы выпаса (табл. 2).

Таблица 2. Химические свойства и гранулометрический состав современных антропогенно-преобразованных почв ключевого участка Подкумское-2

Разрез	Глубина, см	Влаж-ность	$C_{орг}$	$CaCO_3$	pH вод	Содержание частиц, %		$N\text{-}NO_3^-$	$N\text{-}NH_4^+{}_{обм}$	P_2O_5
		%				<0.01 мм	<0.001 мм	мг/100 г		Подв., мг/100 г
Б-342 (Фон)	0–10	4.9	5.4	41.8	7.9	14	3	0.82	1.10	3.21
	10–22	4.1	3.5	50.9	8.0	15	3	0.43	0.90	2.84
	22–33	2.4	1.3	58.3	8.1	25	10	сл.	0.21	1.54
Б-340 (Выпас)	0–10	16.3	5.2	35.9	7.9	18	6	3.27	1.30	3.42
	10–25	8.6	3.8	52.7	8.0	19	9	1.21	0.45	2.61
	25–35	7.0	2.4	62.8	8.2	23	9	0.94	0.25	1.87
Б-339 (Залежь)	0–10	4.3	4.9	43.7	8.0	17	6	1.42	0.85	3.62
	10–23	3.6	4.4	44.9	8.0	21	7	0.71	0.63	3.72

Аналогичная ситуация наблюдалась и в культурном слое производственной зоны, где содержался скот, что обусловлено значительным поступлением в почву органических материалов содержащих мочевину. В почве выпасного участка также наблюдалось повышение уреазной активности (рис. 4). Наибольшая трансформация микробного сообщества почвы произошла в результате распашки. Так, в почве залежного участка наблюдалось существенное уменьшение биомассы грибного мицелия, активной и суммарной микробной биомассы, а также уреазной активности. Кроме того, современное антропогенное воздействие привело к увеличению численности сапротрофных бактерий. Сравнивая особенности изменения химических свойств и биологической активности культурных слоев и современных антропогенно-преобразованных почв, можно заключить, что по особенностям изменения биологической активности наиболее близкими между собой являются почва выпаса и культурный слой на участке, где содержался скот.

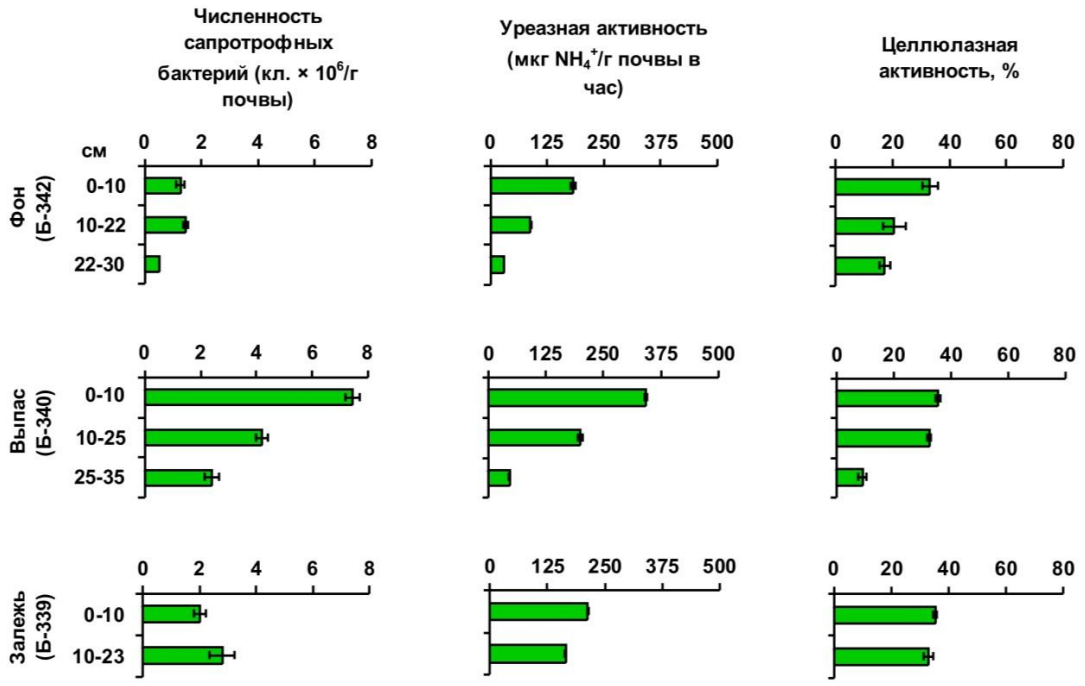

Рис. 4. Численность сапротрофных бактерий и ферментативная активность современных почв ключевого участка Подкумское-2.

Таким образом, селитебное освоение территории в древности, так же, как и современные формы антропогенного воздействия на почвы, вызывало существенные изменения химических свойств почв и их биологической активности. Если селитебная нагрузка приводила к резким изменениям морфологических характеристик, химических свойств и биологической активности, то сельскохозяйственное освоение в первую очередь влияло на микробиологические показатели, в меньшей мере – на химические свойства, и практически не отражалось на морфологических характеристиках антропогенно-преобразованных почв.

Почвы древних земледельческих угодий. Антропогенная нагрузка, связанная с сельскохозяйственным освоением с применением органических удобрений, привела к существенному изменению химических свойств почв. Так, в ближайших к поселениям почвах в зоне заведомо активного сельскохозяйственного использования отмечалось повышенное содержание органического углерода, валового фосфора и накопление нитратного азота (табл. 3).

Сельскохозяйственное освоение территории с длительным внесением навоза в V–VIII вв. также привело к существенному изменению биологической активности почв, и за 1500 лет не произошло полного возврата ее показателей к исходному состоянию. В наибольшей степени антропогенная нагрузка повлияла на показатели уреазной активности почв, биомассы микроорганизмов, дающих респираторный отклик на внесение глюкозы, численность сапротрофных и термофильных бактерий (табл. 4).

Так, на ключевом участке Подкумское-3 максимальная уреазная активность была выявлена в зоне предполагаемого внесения удобрений; далее, по мере удаления от поселения, отмечено ее уменьшение более чем, в два раза. Минимальная активность фермента была выявлена в целинных почвах.

Активная микробная биомасса также была существенно выше в зоне наиболее интенсивного сельскохозяйственного освоения в аланское время, и максимальных значений этот показатель достигал в почвах, удаленных на 250 и 600 м от поселения, здесь ее значения составили 1444 и 1370 мкг С/г почвы соответственно. В ближайших к поселению почвах отмечено некоторое уменьшение значений АМБ, что, возможно, обусловлено особенно мощным антропогенным прессингом и эрозионными процессами в древности. На удалении 1200 м от поселения, на периферии зоны потенциального сельскохозяйственного воздействия, произошло сокращение активной микробной биомассы более чем в два раза. Минимальные значения АМБ отмечены в фоновых почвах на удалении свыше 2000 м от поселения, здесь они не превышали 80 мкг С/г почвы.

Доля активной микробной биомассы от суммарной в пределах полукилометровой зоны вокруг поселения увеличивалось в верхнем горизонте от 28 до 57%. В почвах, не подверженных антропогенному влиянию, она не превышала 15%.

Максимальная биомасса грибного мицелия была выявлена в почвах в зоне заведомо интенсивного антропогенного прессинга с регулярным внесением удобрений. На данном участке в почвах на различном удалении от поселения она варьировала незначительно. По-видимому, увеличение значений суммарной биомассы грибного мицелия в ближайших к поселению почвах бывших пахотных угодий связано с восстановлением комплекса микроскопических грибов после прекращения распашки.

Численность сапротрофных бактерий также была максимальной в зоне наиболее интенсивного сельскохозяйственного освоения. В целом, характер ее изменения в почвах по трансекте был аналогичен таковому для активной микробной биомассы. Численность этой группы микроорганизмов в древних пахотных почвах, куда длительное время вносились органические удобрения, возросла в 20–40 раз относительно целинных почв.

Весьма характерно уменьшение численности термофильных бактерий в почвах по мере удаления от поселения. Так, в почве, ближайшей к поселению, численность термофилов составляла 147 тыс. кл./г в то время как в фоновой почве этот показатель не превышал 0.01 тыс. кл./г. Существенное возрастание численности термофилов может наблюдаться только при длительном и систематическом внесении навоза, компостов и других, нагревающихся при созревании, органических удобрений (Мишустин и др., 1979). Исходя из этого, мы можем заключить, что за период 1500 лет не произошло самоочищения почв, и в них сохранились жизнеспособные формы термофильных микроорганизмов. Высокая их численность указывает на длительность и масштабы применения навоза в земледельческой практике в аланское время.

Таблица 3. Химические свойства и гранулометрический состав почв ключевого участка Подкумское-3

Разрез	Глубина, см	Влажность	$C_{орг}$	$CaCO_3$	pH вод	Содержание частиц, %		$N\text{-}NO_3^-$	$N\text{-}NH_4^+{}_{обм}$	P_2O_5	
		%				<0.01 мм	<0.001 мм	мг/100 г		Подв. мг/100 г	Вал. %
Ключевой участок Подкумское-3											
Б-345	0–20	9.4	8.8	9.0	7.6	13	3	4.78	0.97	5.32	н.д.
(60 м)	20–33	5.0	5.5	22.4	7.9	18	3	2.77	0.65	3.14	н.д.
Б-344	0–20	7.9	8.4	6.7	7.0	21	5	4.21	0.84	5.87	0.51
(120 м)	20–27	6.4	5.7	7.6	7.1	17	5	2.34	0.91	3.12	0.42
Б-346	0–10	6.7	6.1	5.4	6.7	23	7	3.93	0.88	2.62	0.28
(250 м)	10–20	9.2	5.1	4.0	6.6	22	8	2.12	0.82	2.21	0.28
	20–30	5.8	3.9	4.5	7.3	29	12	0.50	0.46	2.17	0.21
	30–40	7.0	3.3	3.6	6.7	37	17	0.27	0.36	1.92	0.18
Б-350	0–10	5.8	6.3	4.5	6.9	16	9	2.81	1.60	2.06	н.д.
(600 м)	10–20	7.7	5.3	3.6	7.1	25	11	1.73	1.26	2.21	н.д.
	20–30	5.7	3.6	3.6	6.9	24	15	0.40	0.61	1.94	н.д.
	30–38	5.7	3.2	4.0	7.5	28	11	0.11	0.52	1.32	н.д.
Б-353	0–10	3.9	3.6	2.2	6.3	16	7	0.87	1.28	3.37	н.д.
(1200 м)	10–20	3.1	3.2	3.1	6.5	16	6	0.41	1.02	2.06	н.д.
	20–30	4.6	1.8	3.1	6.7	33	9	0.30	0.94	1.91	н.д.
	30–40	2.4	1.4	2.2	6.5	37	9	сл.	0.43	1.20	н.д.
	40–50	2.6	1.0	2.2	6.2	32	15	сл.	0.33	1.12	н.д.
	50–60	2.1	0.9	2.2	6.4	39	15	сл.	0.30	1.10	н.д.
Б-352	0–10	5.2	4.5	2.2	6.2	18	8	0.67	2.30	3.37	0.20
(2300 м)	10–20	4.4	4.0	2.2	6.1	21	6	0.76	0.81	4.71	0.18
	20–30	4.9	2.1	2.2	6.5	29	12	0.57	0.71	3.24	0.14
	30–40	2.9	2.0	2.2	6.3	33	18	сл.	0.52	2.72	0.13
	40–50	3.5	1.9	2.2	6.7	29	17	сл.	0.50	1.44	0.11
Б-351	0–10	5.2	3.9	2.2	5.4	15	6	0.50	2.30	3.36	н.д.
(2600 м)	10–20	5.4	3.6	2.2	5.4	20	6	0.78	1.92	4.41	н.д.
	20–30	3.9	2.0	2.2	5.3	26	11	0.21	1.01	3.22	н.д.
	30–40	4.4	1.5	1.8	5.7	26	11	сл.	0.86	3.34	н.д.
	40–50	4.6	1.0	2.2	5.9	32	14	сл.	0.64	3.35	н.д.
Ключевой участок Подкумское-7											
Б-357	0–11	9.4	7,6	50.1	7.6	12	6	4.59	1.17	7.52	0.50
(60 м)	11–23	6.2	2,6	62.1	7.8	24	8	0.84	0.43	2.64	0.43
Б-354	2–10	8.5	9,0	16.2	7.7	34	7	9.43	0.88	9.67	н.д.
(150 м)	10–15	8.3	8.8	15.9	7.6	31	8	8.97	0.72	3.96	н.д.
Б-356	0–10	8.9	8,4	10.3	7.5	25	7	3.76	1.18	5.33	0.33
(500 м)	10–20	8.9	7.2	8.1	7.5	25	8	3.56	1.01	2.62	0.27
	20–30	8.3	4.2	23.8	7.8	28	11	3.20	0.79	1.73	0.25
	30–40	6.5	2.6	40.4	7.9	20	7	1.13	0.91	1.52	0.21
Б-358	0–10	6.4	3,4	3.6	5.7	21	6	0.38	0.93	1.62	н.д.
(700 м)	10–20	7.5	2.5	2.2	5.8	13	8	сл.	0.60	1.24	н.д.
	20–30	4.2	2.1	3.1	6.0	17	13	сл.	0.41	1.23	н.д.
	30–40	4.5	1.3	3.7	6.2	23	13	сл.	0.30	1.62	н.д.
	40–50	4.8	1.0	2.7	6.5	24	17	0.08	0.23	1.63	н.д.
	50–60	4.0	1.0	2.7	6.5	28	18	0.04	0.17	1.32	н.д.
	60–70	5.0	1.3	2.2	6.6	32	17	сл.	0.18	0.87	н.д.
	70–80	5.9	1.4	3.1	6.6	29	23	0.10	0.19	0.84	н.д.

н.д. – нет данных; сл. – следы

Таблица 4. Показатели биологической активности почв ключевого участка Подкумское-3

Разрез	Горизонт глубина, см	Суммарная микробная биомасса	Активная микробная биомасса	Суммарная биомасса грибного мицелия	Доля светло-окрашеного мицелия, %	Численность сапротрофных бактерий, кл.×10^6/г почвы	Численность термофильных бактерий, кл.×10^3/г почвы	Уреазная активность, мкг NH_4^+/г почвы в час
		мкг С/г почвы						
Б-345	0–20	3320 ± 476	893 ± 10	8.08 ± 0.44	89.1	2.04 ± 1.04	147.2 ± 16.1	402.6 ± 7.5
(60 м)	20–33	3344 ± 285	427 ± 19	6.21 ± 1.06	88.7	1.49 ± 0.18	115.5 ± 3.7	247.1 ± 2.2
Б-344	0–20	2731 ± 138	1043 ± 35	8.28 ± 0.36	70.0	2.94 ± 0.31	87.5 ± 11.4	143.1 ± 5.5
(120 м)	20–27	2504 ± 79	388 ± 8	8.01 ± 0.51	79.9	1.68 ± 0.14	127.2 ± 13.5	103.7 ± 0.5
Б-346	0–10	3371 ± 174	1444 ± 11	4.71 ± 0.19	67.2	2.80 ± 0.17	28.9 ± 2.2	67.4 ± 1.5
(250 м)	10–20	3612 ± 488	757 ± 39	2.07 ± 0.41	71.0	1.19 ± 0.21	5.5 ± 0.8	31.6 ± 1.1
	20–30	2621 ± 197	505 ± 122	2.04 ± 0.25	49.2	0.63 ± 0.09	0	15.4 ± 3.6
	30–40	4042 ± 534	306 ± 4	4.45 ± 0.96	78.8	0.36 ± 0.15	0	15.6 ± 0.2
Б-350	0–10	2417 ± 524	1370 ± 22	7.76 ± 0.74	89.0	4.40 ± 0.01	18.0 ± 0.7	83.9 ± 0.3
(600 м)	10–20	3668 ± 927	634 ± 14	4.45 ± 0.95	88.8	3.51 ± 0.01	0	64.3 ± 2.1
	20–30	3392 ± 249	312 ± 12	5.51 ± 1.09	91.9	0.16 ± 0.05	5.3 ± 0.7	32.4 ± 2.5
	30–38	2457 ± 429	159 ± 11	1.40 ± 0.32	85.5	0.24 ± 0.03	4.2 ± 0.0	21.7 ± 0.1
Б-353	0–10	4835 ± 904	754 ± 3	1.26 ± 0.20	75.5	2.91 ± 0.30	9.4 ± 0.7	43.2 ± 0.7
(1200 м)	10–20	4104 ± 1103	296 ± 6	1.61 ± 0.34	80.6	0.56 ± 0.10	0	23.0 ± 0.5
	20–30	5384 ± 1882	165 ± 6	1.56 ± 0.31	73.1	0.85 ± 0.25	0	9.4 ± 1.0
	30–40	5605 ± 1275	42 ± 6	0	0	0.01 ± 0.01	0	5.0 ± 0.1
	40–50	3937 ± 253	28 ± 5	0.25 ± 0.18	100.0	0.09 ± 0.04	0	5.0 ± 0.1
	50–60	2444 ± 216	46 ± 6	0	0	0.11 ± 0.03	0	5.0 ± 0.1
Б-352	0–10	2840 ± 524	376 ± 19	1.07 ± 0.17	58.3	0.99 ± 0.15	1.1 ± 0.7	22.3 ± 0.5
(2300 м)	10–20	2114 ± 126	222 ± 4	0.41 ± 0.12	26.5	0.73 ± 0.11	1.0 ± 0.7	15.7 ± 1.6
	20–30	3221 ± 55	100 ± 6	0.08 ± 0.04	100.0	0	0	6.8 ± 1.0
	30–40	3664 ± 565	85 ± 14	0.04 ± 0.04	0	0.01 ± 0.01	0	4.0 ± 0.9
	40–50	2528 ± 684	93 ± 7	0	0	0.01 ± 0.01	0	5.3 ± 0.1
Б-351	0–10	1912 ± 171	83 ± 3	1.47 ± 0.12	67.0	0.01 ± 0.01	1.1 ± 0.7	20.0 ± 0.6
(2600 м)	10–20	2257 ± 245	70 ± 2	0.57 ± 0.05	0	0.04 ± 0.02	0	14.0 ± 0.9
	20–30	3745 ± 87	50 ± 5	0.39 ± 0.12	20.0	0.01 ± 0.01	0	7.6 ± 0.1
	30–40	4617 ± 89	36 ± 4	0.19 ± 0.03	0	0.01 ± 0.01	0	8.0 ± 0.1
	40–50	605 ± 66	35 ± 4	0.11 ± 0.05	0	0	0	6.8 ± 1.0

Показатель суммарной микробной биомассы оказался наименее чувствительным индикатором для выявления древнего сельскохозяйственного воздействия. Так, в изменении суммарной биомассы по мере удаления от поселения не было выявлено никаких закономерностей. Можно лишь отметить тенденцию к увеличению СМБ в почвах, не затронутых древним земледелием. Это свидетельствует либо об инертности этого показателя, либо о его восстановлении после прекращения хозяйственного использования территории.

В ближайшей к поселению почве наблюдались как низкие значения метаболического коэффициента, так и низкие значения $C_{мик}/C_{орг}$. В работах некоторых авторов показано уменьшение экофизиологических коэффициентов, вызванное уменьшением доли активных микроорганизмов (Joergensen, Emmerling, 2006, Mamilov, Dilly, 2002), что наблюдалось и в данном случае. В почве, удаленной на 250 м от поселения, значения $C_{мик}/C_{орг}$ были самыми высокими: в верхнем слое они достигали 2.4. При этом значение метаболического коэффициента здесь было невелико. В почве периферийной аграрной зоны значения qCO_2 и $C_{мик}/C_{орг}$, в целом, соответствовали значениям, характерным для ненарушенных почв. В фоновых почвах водораздела отмечено резкое уменьшение, как метаболического коэффициента, так и значений $C_{мик}/C_{орг}$. Как правило, значения qCO_2 и $C_{мик}/C_{орг}$ уменьшаются с глубиной вместе с уменьшением доступности углерода и характеризуют ненарушенные экосистемы (Rangger, Insam, 1996).

Проведенный корреляционный анализ показал, что на параметры биологической активности в большей степени влияли содержание органического углерода и подвижных минеральных форм азота в почвах. Среди биологических показателей наиболее тесная взаимосвязь отмечалась между активной микробной биомассой, численностью сапротрофных бактерий и уреазной активностью.

Сопоставление полученных данных по уреазной активности, содержанию керамики в почвах и численности термофилов позволяет более убедительно говорить о предполагаемых границах пахотных удобряемых угодий (рис. 5). Так, граница зоны активного сельскохозяйственного освоения с внесением навоза располагалась примерно в 600 м от поселения. На расстоянии около 1000 м располагалась зона нерегулярной распашки без внесения навоза, и на расстоянии 2000 м – территория, которая не испытывала антропогенного прессинга.

Закономерности изменения биологической активности в окрестностях поселения Подкумское-7, в целом, были аналогичны таковым на Подкумском-3. Однако на данном ключевом участке в общую картину изменения химических свойств и биологической активности существенный вклад внесли эрозионно-аккумулятивные процессы. Но, в целом, выявленные ранее для ключевого участка Подумское-3 закономерности трансформации почвенных свойств в результате древнего антропогенного воздействия прослеживаются и в почвах бывших пахотных угодий поселения Подумское-7.

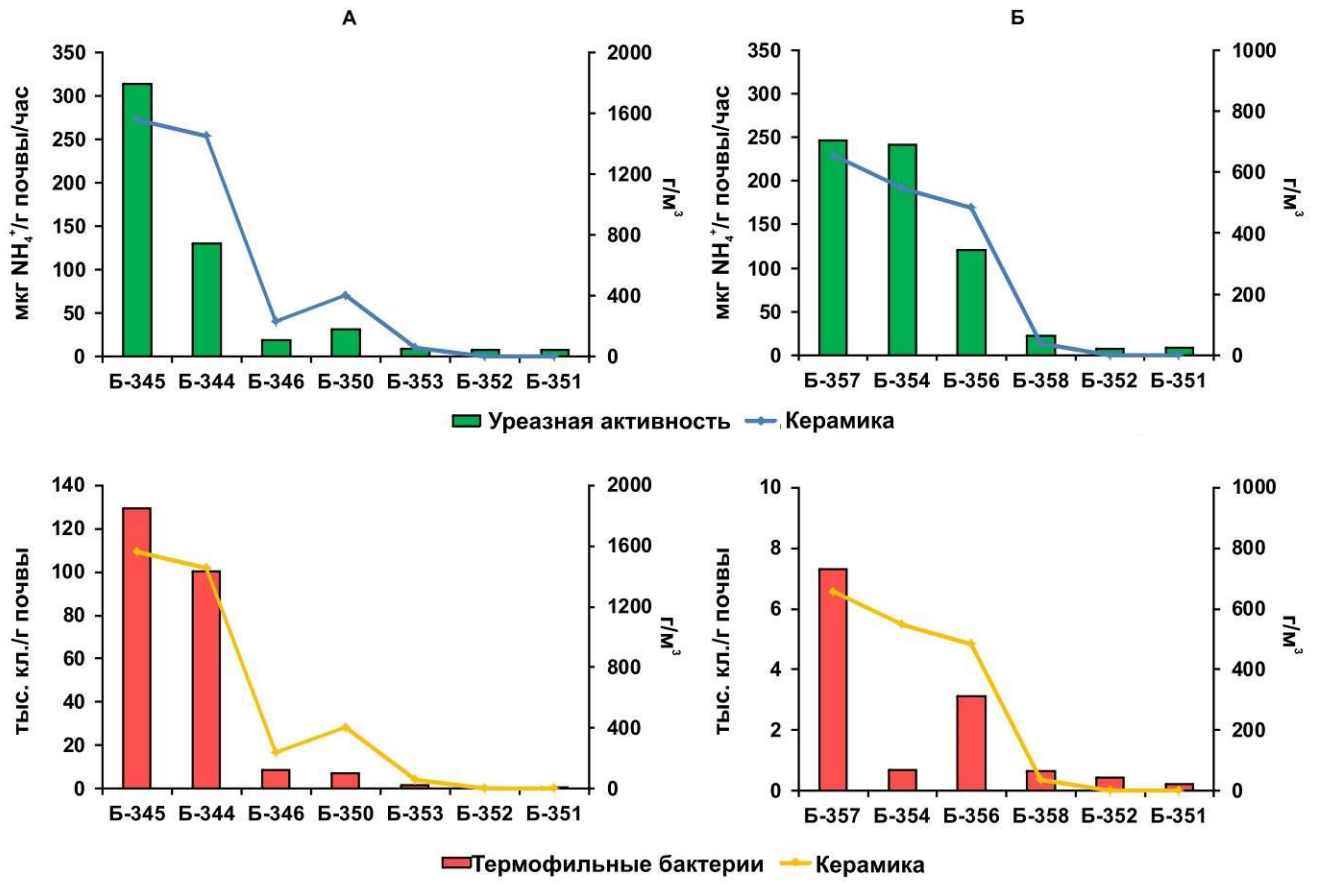

Рис. 5. Уреазная активность, численность термофильных бактерий и содержание керамики в почвах ключевых участков Подкумское-3 (А) и Подкумское-7 (Б).

В ближайших к поселению Подкумское-7 почвах, в зоне активного сельскохозяйственного освоения с внесением органических удобрений, наблюдался повышенное содержание биомассы микроорганизмов, дающих респираторный отклик на внесение глюкозы, высокий уровень уреазной активности, высокая численность сапротрофных и термофильных бактерий (табл. 5). Однако следует отметить, что численность термофильных бактерий в почвах ключевого участка Подкумское-7 была на один-два порядка ниже по сравнению с Подкумкским-3. Это может быть связано либо с меньшими нормами вносимых удобрений, либо с меньшим сроком сельскохозяйственного использования территории.

Отмечена тенденция увеличения суммарной микробной биомассы и биомассы грибного мицелия в зоне минимального антропогенного воздействия. В то же время, в ближайших к поселению почвах, так же, как и на ключевом участке Подкумское-3, выявлено повышенное содержание $C_{орг}$, валового фосфора и нитратной формы азота (табл. 3).

Таблица 5. Показатели биологической активности почв ключевого участка Подкумское-7

Разрез	Горизонт глубина, см	Суммарная микробная биомасса	Активная микробная биомасса	Суммарная биомасса грибного мицелия	Доля светлоокр. мицелия, %	Численность сапротрофных бактерий, кл.×10^6/г почвы	Численность термофильных бактерий, кл.×10^3/г почвы	Уреазная активность, мкг NH_4^+/г почвы
		мкг С/г почвы						
Б-357	0–11	3310 ± 705	1164 ± 27	1.61 ± 0.38	71.7	2.40 ± 0.01	6.59 ± 1.54	404.7 ± 9.0
(60 м)	11–23	3193 ± 366	231 ± 13	2.16 ± 0.84	78.0	0.87 ± 0.02	7.97 ± 1.91	101.3 ± 3.2
Б-354	0–10	2647 ± 386	1465 ± 86	3.85 ± 0.28	87.8	6.49 ± 0.56	1.09 ± 0.76	309.3 ± 12.6
(150 м)	10–15	2446 ± 519	1385 ± 102	3.38 ± 0.53	86.2	6.15 ± 0.40	0	134.8 ± 7.3
Б-356	0–10	4405 ± 744	1266 ± 65	10.64 ± 0.58	88.2	12.65 ± 0.60	7.08 ± 0.49	349.3 ± 0.3
(500 м)	10–20	3823 ± 379	636 ± 16	5.56 ± 0.67	81.2	3.21 ± 0.26	2.18 ± 1.52	91.2 ± 0.6
	20–30	3149 ± 278	214 ± 3	4.83 ± 1.66	79.2	0.23 ± 0.02	3.25 ± 0.76	20.9 ± 0.7
	30–40	2022 ± 260	127 ± 5	2.56 ± 1.10	86.0	1.26 ± 0.02	0	21.4 ± 0.4
Б-358	0–10	4830 ± 939	621 ± 13	4.65± 0.62	93.1	2.81 ± 0.16	4.68 ± 1.81	44.5 ± 1.4
(700 м)	10–20	4412 ± 898	275 ± 5	2.83 ± 0.48	86.0	1.56 ± 0.09	0	31.5 ± 2.0
	20–30	2643 ± 375	169 ± 6	2.42 ± 0.46	87.9	1.28 ± 0.11	0.63 ± 0.42	15.5 ± 0.1
	30–40	2775 ± 1531	143 ± 21	0.80 ± 0.50	84.4	0.07 ± 0.04	0	10.3 ± 0.1
	40–50	2627 ± 143	83 ± 9	0	0	0.05 ± 0.01	0	18.5 ± 0.2
	50–60	3944 ± 773	36 ± 14	0	0	0.04 ± 0.01	0	26.8 ± 3.2
	60–70	3621 ± 446	66 ± 10	0.57 ± 0.49	100.0	0.14 ± 0.03	0	18.9 ± 0.3
	70–80	2956 ± 344	20 ± 1	0	0	0.04 ± 0.01	0	11.7 ± 0.9
Б-352	0–10	2840 ± 524	376 ± 19	1.07 ± 0.17	58.3	0.99 ± 0.15	1.10 ± 0.71	22.3 ± 0.5
(1350 м)	10–20	2114 ± 126	222 ± 4	0.41 ± 0.12	26.5	0.73 ± 0.11	1.00 ± 0.70	15.7 ± 1.6
	20–30	3221 ± 55	100 ± 6	0.08 ± 0.04	100.0	0	0	6.8 ± 1.0
	30–40	3664 ± 565	85 ± 14	0.04 ± 0.04	0	0.01 ± 0.01	0	4.0 ± 0.9
	40–50	2528 ± 684	93 ± 7	0	0	0.01 ± 0.01	0	5.3 ± 0.1
Б-351	0–10	1912 ± 171	83 ± 3	1.47 ± 0.12	67.0	0.01 ± 0.01	1.10 ± 0.71	20.0 ± 0.6
(1400 м)	10–20	2257 ± 245	70 ± 2	0.57 ± 0.05	0	0.04 ± 0.02	0	14.0 ± 0.9
	20–30	3745 ± 87	50 ± 5	0.39 ± 0.12	20.0	0.01 ± 0.01	0	7.6 ± 0.1
	30–40	4617 ± 89	36 ± 4	0.19 ± 0.03	0	0.01 ± 0.01	0	8.0 ± 0.1
	40–50	605 ± 66	35 ± 4	0.11 ± 0.05	0	0	0	6.8 ± 1.0

ВЫВОДЫ

1. Антропогенная нагрузка в древности обусловила существенные изменения химических свойств почв и их биологической активности, и эти изменения сохранились до настоящего времени.

2. Селитебное и сельскохозяйственное воздействие привело к увеличению содержания подвижных фосфатов и валового фосфора, накоплению нитратного азота в культурных слоях поселений и почвах древних земледельческих угодий. Использование органических удобрений в аграрной практике 1500–1800 лет назад привело к достоверному увеличению содержания $C_{орг}$ в почвах.

3. В культурных слоях показатели биологической активности изменялись в зависимости от характера использования территории. В местах содержания скота в производственной зоне поселений наблюдались повышенные значения активной микробной биомассы, уреазной и целлюлазной активности, тогда как в жилой зоне эти показатели, в целом, были значительно ниже.

4. Длительное внесение навоза в почвы земледельческих угодий в древности привело к увеличению в них активной микробной биомассы, численности сапротрофных и термофильных бактерий, а также уреазной активности. Наибольшие значения этих показателей отмечены в 500-метровой зоне возле поселений в местах систематического внесения удобрений, где активная микробная биомасса в 5–10 раз превышала фоновый уровень, а численность сапротрофов достигала 4 млн. кл./г почвы, в то время как в целинных почвах она не превышала 1 млн. кл./г почвы. Высокая численность термофилов в почвах, находящихся в залежном состоянии более 1500 лет, указывает на длительность, либо высокие нормы внесения навоза в земледельческой практике в древности.

5. За полторы тысячи лет после снятия антропогенного стресса в культурных слоях поселений и почвах сельскохозяйственного использования не произошло полного восстановления характеристик микробного сообщества до исходного состояния. Отмечается лишь некоторое увеличение биомассы грибного мицелия в почвах древней залежи.

6. По степени чувствительности к антропогенному воздействию все показатели биологической активности можно расположить в следующем ряду: уреазная активность ≥ численность термофилов > численность сапротрофов ≥ биомасса микроорганизмов, дающих респираторный отклик на внесение глюкозы > суммарная биомасса грибного мицелия > суммарная микробная биомасса.

7. Разработанные подходы к индикации древнего антропогенного воздействия были апробированы и применены в практике археологических исследований для выявления ареалов пахотных угодий и установления потенциальной хозяйственной зоны древних поселений.

Список работ, опубликованных по теме диссертации

Статьи в журналах, рекомендованных ВАК:

1. **Чернышева, Е. В.** Биомасса и активность микроорганизмов в современных и погребенных каштановых почвах Нижнего Поволжья / **Е. В. Чернышева,** Н. Н. Каширская, А. В. Борисов, А. Н. Журавлев, В. А. Демкин // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. – Том 18. – вып. 3. – 2013. – С. 842–846.

2. Борисов, А. В. Химические и микробиологические свойства культурных слоев поселений кобанской культуры (XIII–IX вв. до н.э.) в окрестностях г. Кисловодска / А. В. Борисов, С. Петерс, **Е. В. Чернышева**, Д. С. Коробов, С. Рейнхольд // Вестник археологии, антропологии, этнографии. – № 4. – 2013. – С. 142–162.

3. **Чернышева, Е. В.** Биологическая активность дерново-карбонатных почв и культурных слоев аланских поселений Кисловодской котловины / **Е. В. Чернышева,** Н. Н. Каширская, Д. С. Коробов, А. В. Борисов // Почвоведение. – № 9. – 2014. – С. 1068–1076.

4. Гак, Е. И. Опыт выявления и систематизации инфраструктурных признаков поселения катакомбной культуры Рыкань-3 в лесостепном Подонье / Е. И. Гак, **Е. В. Чернышева**, А. К. Ходжаева, А. В. Борисов // Российская археология. – № 4. – 2014. – С. 19–28.

Статьи в сборниках и тезисы:

5. **Чернышева, Е. В.** Биомасса грибного мицелия и состояние микроскопических грибов в погребенных и современных почвах сухостепной зоны / **Е. В. Чернышева,** А. В. Борисов, В. А. Демкин // БИОСФЕРА – ПОЧВЫ – ЧЕЛОВЕЧЕСТВО: УСТОЙЧИВОСТЬ И РАЗВИТИЕ: Материалы Всероссийской научной конференции, посвященной 80-летию проф. А.Н. Тюрюканова. – М.: Фонд «Инфосфера» НИА Природа, 2011. – С. 440–449.

6. **Чернышева, Е. В.** Биомасса и структура грибного мицелия в погребенных и современных почвах сухостепной зоны / **Е. В. Чернышева** // БИОЛОГИЯ – НАУКА XXI ВЕКА: 15-я Международная Пущинская школа-конференция молодых ученых (Пущино, 18 - 22 апреля 2011 года). Сборник тезисов. – С. 386

7. **Чернышева, Е. В.** Грибной мицелий в погребенных и современных каштановых почвах // Материалы международного молодежного научного форума «ЛОМОНОСОВ-2011». – М.: МАКС Пресс, 2011. С. 90.

8. **Чернышева, Е. В.** Биомасса и активность микроорганизмов в современной и погребенной каштановой почве / **Е. В. Чернышева** // Материалы международного молодежного научного форума «ЛОМОНОСОВ-2012». – М.: МАКС Пресс, 2012. – С. 90.

9. **Чернышева, Е. В.** Микробиологические свойства современной и погребенной каштановых почв / **Е. В. Чернышева** // БИОЛОГИЯ – НАУКА XXI ВЕКА: 16-я Международная Пущинская школа-конференция молодых ученых (Пущино, 16 - 21 апреля 2012 года). Сборник тезисов. – С. 219–220.

10. **Чернышева, Е. В.** Уреазная активность культурного слоя древних поселений (на примере поселения катакомбной культуры Рыкань-3) / **Е. В. Чернышева,** А. В. Борисов, Е. И. Гак // Проблеми дослідження пам’яток археологіі східноі Украіни: Матеріали III Луганськоі міжданородноі історико-археологічноі конференціі, присвяченоі пам’яті С.Н. Братченка. – Луганьск, 2012. – С. 388–391.

11. **Чернышева, Е. В.** Биомасса и активность микроорганизмов в современных и погребенных почвах сухостепной зоны Нижнего Поволжья / **Е. В. Чернышева** // Материалы международной конференции XVI Докучаевские молодежные чтения «Законы почвоведения: новые вызовы». – СПб.: Издательский дом С.-петербургского государственного университета, 2013. – С. 203–204.

12. Александрова, О. И. Комплексные исследования пещеры Двойная: предварительные результаты / О. И. Александрова, Ж. А. Антипушина, **Е. В. Чернышева** // Новые материалы и методы археологического исследования: Материалы II Международной конференции молодых ученых. – М.: ИА РАН, 2013. – С. 31–32.

13. **Чернышева Е. В.** Изменение микробной биомассы дерново-карбонатных почв под влиянием древнего и современного антропогенного воздействия / **Е. В. Чернышева** // Географические и геоэкологические исследования в Украине и сопредельных территориях: сборник научных статей. – Симферополь: ДИАЙПИ, 2013. – С. 126–130.

14. Удальцов, С. Н. Новые химико-аналитические подходы при исследовании палеопочв археологических памятников / С. Н. Удальцов, **Е. В. Чернышева**, Т. В Кузнецова, В. А. Демкин // Современные решения актуальных проблем евразийской археологии: сб. науч. ст. – Барнаул: Изд-во Алтайского университета, 2013. – С. 114–117.

15. Леонова, Е. В. Междисциплинарные исследования стоянок верхнего палеолита и мезолита в Губском ущелье / Е. В. Леонова, О. И. Александрова, Ж. А. Антипушина, М. Б. Медникова, Н. В. Сердюк, Е. А. Спиридонова, А. С. Тесаков, **Е. В. Чернышева** // 5-ая международная конференция «Алексеевские чтения» памяти академиков Т.И. Алексеевой и В.П. Алексеева. Тезисы. – М.: ООО ИТЕП, 2013. – С. 56.

16. **Чернышева, Е. В.** Уреазная активность как новый диагностический признак культурного слоя / **Е. В. Чернышева,** Д. С. Коробов, А. В. Борисов // Материалы Всероссийской научной конференции по археологическому почвоведению. – Пущино, 2014. –С. 251–254.

17. Каширская, Н. Н. Фосфатазная активность культурных слоев археологических памятников / Н. Н. Каширская, **Е. В. Чернышева**, А. В. Борисов // Материалы Всероссийской научной конференции по археологическому почвоведению. – Пущино: 2014. – С. 220–222.

18. **Чернышева, Е. В.** Уреазная активность почв и культурных слоев памятников аланской культуры в Кисловодской котловине / **Е. В. Чернышева,** А. В. Борисов, Д. С. Коробов // Е. И. Крупнов и развитие археологии Северного Кавказа. XXVIII Крупновские чтения. Материалы Международной научной конференции. – М.: ИА РАН, 2014. – С. 286–287.

19. **Чернышева, Е. В.** Жизнеспособные термофильные микроорганизмы в почвах древних земледельческих угодий / **Е. В. Чернышева,** А. В. Борисов // Экология и почвы. «Почвоведение и смежные науки: методы и подходы; результаты и проблемы взаимодействия по вопросам экологии». Материалы XIX Всероссийской Школы. Программа, краткое содержание докладов. Том X. Пущино: ИФХиБПП РАН, 2014. – С. 46.

20. Каширская, Н. Н. Ферментативная активность почв культурных слоев городища Болгар как показатель интенсивности и характера антропогенной нагрузки в прошлом / Н. Н. Каширская, **Е. В. Чернышева**, А. Э. Федотов, М. Л. Агафонова, Н. О. Крамарева, Д. В. Пригородова // Труды IV (XX) Всероссийского археологического съезда в Казани. Том III. Казань: Отечество, 2014. – С. 379–383.