РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ИНСТИТУТ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ И БИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ ПОЧВОВЕДЕНИЯ

На правах рукописи

ЧЕРНЫШЕВА ЕЛЕНА ВЛАДИСЛАВОВНА

ВЛИЯНИЕ ДРЕВНЕГО АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА БИОЛОГИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ ПОЧВ КИСЛОВОДСКОЙ КОТЛОВИНЫ

Специальность: 03.02.13 – Почвоведение

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени кандидата биологических наук

Научный руководитель:
кандидат биологических наук
Александр Владимирович Борисов

Пущино 2015

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 4
ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ 10
1.1 Влияние антропогенной деятельности в древности на морфологические и химические свойства почв 10
1.2 Влияние сельскохозяйственного освоения территории на биологическую активность почв 12
1.3 Трансформация микробных сообществ почв под влиянием древнего антропогенного воздействия 18
1.4 История заселения Кисловодской котловины 21
ГЛАВА 2. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ 27
ГЛАВА 3. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ 36
3.1 Объекты исследований 36
3.1.1 Культурные слои поселений и современные антропогенно-преобразованные почвы 37
3.1.2 Почвы древних земледельческих угодий 43
3.2 Методы исследований 56
3.2.1 Химико-аналитические методы 56
3.2.2 Методы определения биологической активности 57
ГЛАВА 4. ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ КУЛЬТУРНЫХ СЛОЕВ ПОСЕЛЕНИЙ И ПОЧВ ДРЕВНИХ ЗЕМЛЕДЕЛЬЧЕСКИХ УГОДИЙ 63
4.1 Ключевой участок Подкумское-2 63
4.1.1 Химические свойства почв и культурных слоев 63
4.1.2 Биологическая активность почв и культурных слоев 68
4.1.3 Корреляционный анализ 88
4.1.4 Заключение по ключевому участку Подкумское-2 92
4.2 Ключевой участок Подкумское-3 94
4.2.1 Химические свойства почв 94

4.2.2 Биологическая активность почв 99
4.2.3 Корреляционный анализ 115
4.2.4 Заключение по ключевому участку Подкумское-3 119
4.3 Ключевой участок Подкумское-7 120
4.3.1 Химические свойства почв 120
4.3.2 Биологическая активность почв 125
4.3.3 Корреляционный анализ 136
4.3.4 Заключение по ключевому участку Подкумское-7 139
ГЛАВА 5. ИЗМЕНЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПОЧВ КИСЛОВОДСКОЙ КОТЛОВИНЫ В РЕЗУЛЬТАТЕ ДРЕВНЕГО АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ 140
ВЫВОДЫ 150
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 152

ВВЕДЕНИЕ

Начиная с середины XX века, отмечается резко возрастающая интенсивность преобразования человеком экосистем Земли, и в настоящие время около 80% поверхности планеты содержит следы его вмешательства (Ellis, Ramankutty, 2008). Наиболее мощным преобразующим фактором является сельскохозяйственная деятельность (Kiers et al., 2008; Benayas, Bullock, 2012). Так, площадь сельскохозяйственных земель в мире сейчас составляет около 40% (Foley et al., 2005). На территории России агроценозы занимают около 23% (Единый государственный реестр…, 2014).

Одним из основных компонентов экосистем, в наибольшей мере подверженным антропогенному влиянию, являются почвы. В последние десятилетия резко усилились процессы деградации почв, что приводит к потере почвой своих биогеоценотических и биосферных функций, а также значительному сокращению биоразнообразия (Добровольский, Никитин, 2012). В этой связи особую важность приобретают вопросы изучения масштабов трансформации почвенных свойств под действием антропогенного прессинга и способность почвы восстанавливать свои функции. Исследования в этом направлении дадут возможность не только оценить современное состояние почв, но и позволят прогнозировать дальнейшие изменения почв и почвенного покрова как важнейшего компонента биоценозов, что особенно важно в условиях актуальной на сегодняшний день тенденции перехода на рациональные принципы природопользования.

Микробное сообщество является наиболее чувствительным компонентом почвы, в первую очередь реагирующим на антропогенное воздействие. 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 этих вопросов имеет ряд ограничений, связанных с большим временным масштабом, необходимым для протекания указанных процессов. Именно этим обусловлена слабая экспериментальная изученность процессов восстановления микробных сообществ почв, подвергшихся антропогенному воздействию, а также слабая изученность долговременных трендов изменения микробных сообществ почв. Период наблюдений за изменениями этих параметров 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 почвы древних земледельческих угодий и культурные слои археологических памятников (поселений). При этом, если после прекращения хозяйственной деятельности на данном участке не проводилась активная хозяйственная деятельность, то создаются условия для максимально полного восстановления исходных почвенных свойств. Почвы и культурные слои древних поселений, в данном случае, 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.

Следует отметить, что информационный потенциал микробных сообществ почв и культурных слоев археологических памятников до настоящего времени реализован далеко не в полной мере. Известен лишь ряд работ Т. С. Демкиной, Т. Э. Хомутовой и Н. Н. Каширской и др., в которых приводятся палеоэкологические реконструкции для второй половины голоцена, построенные на основе изучения различных параметров микробных сообществ подкурганных палеопочв южнорусских степей (Демкина и др., 2000, 2004, 2010; Хомутова и др., 2004; Хомутова, Демкин, 2011; Каширская и др., 2009). В работах О. Е. Марфениной и А. Е. Ивановой с соавторами выявлены существенные отличия микобиоты антропогенно-преобразованных почв археологических

памятников от фоновых аналогов. Также, на основе изучения микроскопических грибов в культурных слоях средневековых поселений на Северном Кавказе, в зонах средней и южной тайги, авторами предприняты попытки реконструкции инфраструктуры поселений и особенностей использования территории на различных участках памятника (Марфенина и др., 2001, 2008; Marfenina et al., 2008; Иванова и др., 2006). В наименьшей степени изучены вопросы трансформации микробного сообщества почвы в результате древнего сельскохозяйственного воздействия, а также возможность последующего восстановления микробного сообщества. В этом отношении информационный потенциал биологической памяти почвы (Таргульян, 2005) практически не исследован. На сегодняшний день известна лишь одна работа, в которой было показано, что в почве древней земледельческой террасы (около 1500 л.н.) сохранился высокий уровень фосфатазной и амидазной активности, превышающий уровень ферментативной активности современной окультуренной и целинной почв (Dick et al, 1994). Также известны работы по изучению микробиологических свойств окультуренных почв монастырей XVI–XVII вв. (Новиков, Степанов, 2000; Лысак и др., 2004). В этих работах авторами показана повышенная биологическая активность погребенного пахотного слоя и изменение таксономической структуры бактериального сообщества при окультуривании. Что касается комплексного изучения изменений биологической активности почв под влиянием древнего селитебного и сельскохозяйственного воздействия, а также вопросов восстановления исходных характеристик почвенного микробного сообщества после снятия антропогенного прессинга, то исследования в этом направлении ранее не проводились.

В связи с вышесказанным, **целью** диссертационной работы было изучение влияния древнего антропогенного воздействия на биологическую активность почв Кисловодской котловины.

Для достижения поставленной цели было необходимо решить следующие **задачи**:

- 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.) в Кисловодской котловине, а также прилегающих к поселениям почв древних земледельческих угодий. Сравнение полученных данных с аналогичными показателями для фоновых почв, не подвергавшихся антропогенному воздействию, позволило установить, что антропогенная нагрузка, имевшая место 1500–1800 лет назад обусловила значительную трансформацию почвенного микробного сообщества. Для культурных слоев поселений и почв древних полей, пребывающих в залежном состоянии более 1500 лет, показано увеличение биомассы микроорганизмов, дающих респираторный отклик на внесение глюкозы, уреазной и целлюлазной активности, численности сапротрофных и термофильных бактерий. Впервые оценена способность отдельных компонентов микробного сообщества почвы к восстановлению после снятия антропогенного прессинга.

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 активной микробной биомассы, уреазной активности, а также численности сапротрофных и термофильных бактерий.

Апробация работы. Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались в ходе отчетных сессий на заседаниях Ученого совета ИФХиБПП РАН; на III Международной историко-археологической конференции, посвященной памяти С. Н. Братченко (Луганск, 2012); на XVI Международной конференции «Докучаевские молодежные чтения» (Санкт-Петербург, 2013); на II

Международной конференции молодых ученых «Новые материалы и методы археологического исследования» (Москва, 2013); 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 (Пущино, 2014); на XXVIII Международной конференции «Крупновские чтения» (Москва, 2014); на 20-м Международном почвенном конгрессе (Республика Корея, 2014); на XIX Всероссийской школе «Экология и почвы» (Пущино, 2014); на IV (XX) 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, 21 рисунок; состоит из введения, обзора литературы, описания объектов и методов исследования, изложения полученных результатов и их обсуждения, заключения, 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.

ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Влияние антропогенной деятельности в древности на морфологические и химические свойства почв

Исследованию изменений почвенных свойств в результате антропогенной деятельности посвящен огромный массив литературы. Наиболее изученными являются вопросы трансформации почвенных свойств в результате сельскохозяйственной деятельности, а также изменения почвенных свойств в местах компактного проживания людей, в первую очередь – в городах. Столь пристальное внимание к этим вопросам обусловлено чрезвычайной важностью изучения этих проблем в связи с продолжающимся ростом площади сельскохозяйственных угодий, составляющей сейчас около 40% площади суши (Foley et al., 2005). В нашей стране этот показатель составляет 22.6%, при этом площади, занятые населенными пунктами, достигают 1.2% территории (Единый государственный реестр…, 2014). В этой связи анализ всей литературы по антропогенному преобразованию почв представляется темой отдельного исследования.

Что касается вопросов селитебного и сельскохозяйственного преобразования почв в древности и средневековье, то литературных сведений по этой теме значительно меньше. Но и в данном случае можно выделить существенно большую проработанность вопросов формирования и функционирования культурных слоев поселений, их химических свойств по сравнению с древними пахотными угодьями.

История применения методов почвоведения при исследовании культурных слоев археологических памятников начинается вместе с первыми шагами генетического почвоведения. Так, основоположник генетического почвоведения В. В. Докучаев в 1878 году участвовал в раскопках ряда неолитических стоянок, и по особенностям залегания находок им было установлено время поселения древнего человека в долине р. Ока (Жук, 2005).

Наиболее широкое применение инструментальных методов почвоведения в изучении культурных слоев поселений началось после открытия в 30-х годах

прошлого века О. Аррениусом и В. Лорхом факта повышения содержания фосфатов в культурном слое поселений (Arrhenius, 1931; Lorch, 1940 (цит. по: Holliday, Gartner, 2007)). В настоящее время этот принцип широко используется в практике археологических изысканий (Eidt, 1977, 1984; Barda, 1994; Holliday, Gartner, 2007). Достаточно глубоко изучена природа антропогенной трансформации гранулометрического состава культурного слоя (Чижикова, 1991, Прокофьева и др., 2001; Соколова и др., 2005), химических свойств (Александровский, 1997; Александровский и др., 1997; Герасимова и др. 2003; Естественно-научные…, 2004; Сычева, 2006; Долгих, 2010; Каздым, 2010), микробиологичесикх показателей (Марфенина и др, 2001, 2008; Иванова и др, 2008; Marfenina et al., 2008). Наиболее полное представление о современном уровне естественнонаучного изучения культурных слоев в нашей стране можно получить, ознакомившись с материалами международных конференций по данной тематике (Культурные слои…, 2006; Материалы …, 2014)

Сельскохозяйственное преобразование почв в древности и средневековье изучено в меньшей степени. Известен ряд работ, в которых проводится поиск физико-химических индикаторов древнего земледелия (Lisetskii et al., 2015), рассматривается восстановление 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; Sandor, Eash, 1995; Scalenghe et al., 2002; Lisetskii et al., 2013), последствия древнего орошения (Костюченко, Лисицина, 1976; Лисицина, Костюченко, 1976). Особое внимание исследователей привлекают древние земледельческие террасы, как наиболее яркие и монументальные природно-антропогенные образования, имеющие очень высокий и многоплановый потенциал для изучения различных аспектов древнего земледелия (Sandor et al., 1990; Sandor, 2006; Ruecker et al., 1998; Sanchez-Maranon, 2002; Goodman-Elgar, 2008; Борисов, Коробов, 2013).

В некоторых работах исторически датированный агрогенный этап эволюции почв используется для оценки скорости эрозии (Londono, 2008), реконструкции

палеоэкологических условий (Cordova, Lehman, 2005), проводятся попытки реконструкции плодородия почв древних агроэкосистем (Homburg, Sandor, 2011). Отдельной темой в рамках нового научного направления, известного как “Environmental archaeology” («Археология окружающей среды»), стало моделирование почвенных процессов при обработке почвы в соответствии с древними агротехническими приемами (Wilkinson, Stevens, 2008).

Что касается влияния древнего сельскохозяйственного воздействия на микробиологические свойства почвы, то приходится констатировать практически полное отсутствие литературных данных по этому вопросу.

Теперь перейдем к рассмотрению особенностей изменения биологической активности почв в результате сельскохозяйственного освоения территории. В связи с тематикой исследования в данном разделе не будет рассматриваться влияние пестицидов, химических удобрений, полива, использования тяжелой техники и других форм воздействия на почвы в условиях современного сельскохозяйственного производства. Ниже будет рассмотрено влияние на биологическую активность почв лишь таких агротехнических приемов, как распашка и внесение органических удобрений. Предполагается, что этими приемами ограничивалось сельскохозяйственное воздействие на почвы в древности и средневековье. Также не рассматривается влияние современного селитебного воздействия на биологическую активность почв. Эта тема достаточно освещена в литературе; при этом форма и интенсивность современного селитебного преобразования почв весьма далеки от возможного селитебного воздействия на почвы древних поселений.

1.2 Влияние сельскохозяйственного освоения территории на биологическую активность почв

Влияние распашки почв. Длительное культивирование и распашка почв, особенно без внесения органических удобрений, приводит к уменьшению содержания $C_{орг}$ и $N_{общ}$ (Dick, 1992), и существенно изменяет физические и водно-

физические свойства почв, что приводит к изменению параметров микробного сообщества и пространственному перераспределению внутри почвенного профиля микроорганизмов и различных ферментов (Deng, Tabatabai, 1997; Bergstrom et al., 1998 a,b).

Различия в биологической активности почв антропогенных и естественных ландшафтов охватывают весь почвенный профиль. Так, высокая напряженность биологических процессов в целинных почвах в большей степени характерна для верхнего горизонта, и уменьшение биологической активности вниз по профилю здесь происходит более резко по сравнению с антропогенно-преобразованными почвами, т.е. можно сказать, что пахотные почвы имеют более мощный биологически активный слой (Хазиев, 1982). Равномерность распространения микроорганизмов и ферментативной активности в антропогенно-преобразованных почвах отмечена многими авторами (Добровольская и др., 2001; Иванова и др., 2008; Лысак и др., 2004; Carter, 1985, 1991; Mikanova et al., 2009).

В работах различных авторов показано существенное уменьшение биомассы бактерий и микроскопических грибов в пахотных почвах даже при весьма непродолжительном сроке сельскохозяйственного использования (Полянская и др., 1997; Полянская, Звягинцев, 2005; Лысак и др., 2004; Масютенко и др., 2008; Carter, 1985, 1991; Angers et al., 1993; Alvarez et al., 1995; Wardle, 1995; Kandeler, Bohm, 1996; Kandeler et al., 1999b; Bardgett et al., 1996; Frey et al., 1999; Feng et al., 2003; Bittman et al., 2005; Mikanova et al., 2009; Jiang et al., 2011 и др.). Но, если при распашке в почву вносятся органические удобрения, может происходить увеличение микробной биомассы (Mikha, Rice, 2004).

После забрасывания земледельческих полей происходит увеличение микробной биомассы. В большей степени это отражается на биомассе грибного мицелия, так как после прекращения распашки происходит восстановление сети грибных гиф (Allison et al., 2005; van der Wal et al., 2006; de Vriers et al., 2007; Zarnoza et al., 2009).

Влияние распашки почв проявляется не только на количестве микробной биомассы, но и на структуре микробного сообщества почвы. Так, было показано,

что таксономический состав бактериальных сообществ почвенных горизонтов целинных и пахотных почв очень близок, и представлен одним и тем же спектром доминантов *Arthrobacter, Bacillius, Streptomyces*. Однако в результате антропогенной деятельности происходит изменение соотношения родов этих бактерий (Добровольская, 2001). Кроме того, влияние сельскохозяйственного воздействия может выражаться и в увеличение доли отдельных групп микроорганизмов, например коринеподобных бактерий, устойчивых к различным стрессам (Лысак и др., 2004; Ковалева и др., 2007).

Изменения в структуре микробного сообщества ведут и к изменениям ферментативной активности почв. При сельскохозяйственном освоении естественных ландшафтов без внесения органических удобрений ферментативная активность уменьшается, и, как правило, в верхнем горизонте целинных почв она выше, чем в верхнем горизонте пахотных (Хазиев, 1982). В нижележащих горизонтах наблюдается противоположная ситуация (Angers et al., 1993; Bandick, Dick, 1999; Kandeler et al., 1999a,b; Roscoe et al, 2000; Dumontet et al., 2001), т.е. в пахотных почвах ферментативная активность по профилю распределяется более равномерно. Кроме того, влияние распашки не одинаково отражается на активности конкретного фермента, так, например, уреазная активность менее чувствительна к распашке, чем фосфатазная активность (Palma et al., 2000).

Распашка также может косвенно влиять на ферментативную активность через изменение структуры микробного сообщества (Acosta-Martinez et al., 2003). Так, показаны изменения фосфатазной, дегидрогеназной, β-глюкозидазной и уреазной активности, вызванные распашкой пахотных почв, что было связано с изменением главных физиологических групп бактерий и грибов (Aon, Colaneri, 2001; Aon et al., 2001).

Дальнейшее изменение уровня ферментативной активности будет зависеть от характера использования почв: если в почву будут вноситься органические удобрения, то будет происходить увеличение ферментативной активности. В окультуренных почвах ферментативная активность вновь повышается и может превосходить активность целинных почв (Хазиев, 1982).

Влияние органических удобрений. Значительные поступления разнообразных органических материалов обычно стимулируют биологическую активность почвы, что приводит к увеличению микробной биомассы (Полянская и др., 1997; Масютенко и др., 2008; McGill et al., 1985; Schnurer et al., 1985; Dick et al., 1992; Kandeler, Eder, 1993; Rasmussen et al., 1994; Plaza et al., 2004; Guerrero et al., 2007; Melero et al., 2007; Liu et al., 2010; Giacometti et al., 2013). Наиболее значительное увеличение микробной биомассы происходит вследствие внесения навоза, благодаря чему увеличивается содержание органического вещества в почвах, его наиболее лабильной фракции, в результате чего микроорганизмы обеспечиваются легкодоступными C и N, которые являются необходимыми элементами для поддержания их роста (Liang et al., 1998).

Внесение навоза приводит к увеличению микробной биомассы, и, в итоге стимулирует выработку ферментов, которые необходимы для разложения доступных субстратов. Это в конечном итоге, приводит к увеличению ферментативной активности почв (Галстян, 1974; Dick et al., 1988; Martens et al., 1992; Miller, Dick, 1995; Friedel et al., 1996; Burket, Dick, 1998; Garcia et al., 1998; Bandick, Dick, 1999; Klose et al., 1999; Klose, Tabatabai, 2000; Pascual et al., 1999; Antonius, 2003; Bol et al., 2003; Dodor, Tabatabai, 2003; Bohme et al., 2005; Bastida et al., 2008; Liu et al., 2010; Moeskops et al., 2010).

Так, показано, что длительное внесение навоза в течение более 100 лет, независимо от севооборота и системы землепользования, привело к увеличению фосфатазной, α-глюкозидазной, арилсульфатазной и уреазной активности (Eivazi et al., 2003).

Различные ферменты могут по-разному отвечать на внесение органических удобрений. Так, уреазная активность в полевых условиях увеличивалась при внесении компоста садовых отходов, в то время как активность инвертазы существенно не изменялась (Antonius, 2003). В другом исследование показано существенное увеличение β-глюкозидазной, уреазной и фосфатазной активности через две недели после внесения навоза, в то время как активность инвертазы и

ксиланазы не изменялась (Bol et al., 2003). Увеличение ферментативной активности говорит об улучшении почвенных условий, и, в случае с уреазной активностью, происходит за счет внесения уреалитических микроорганизмов вместе с навозом (Gianfreda, Ruggiero, 2006).

Однако ежегодное внесение органических удобрений может приводить и к уменьшению уровня ферментативной активности (Perucci, 1992; Marcote et al., 2001). В другой работе показаны лишь незначительные изменениям β-глюкозидазной, нитратредуктазной, дегидрогеназной, уреазной, фосфатазной и протеазной активности на обрабатываемых площадках, куда вносилось 12 т/га компоста; через 6 лет после начала эксперимента эти показатели практически не изменились (Crecchio et al., 2004).

Как уже было сказано, длительность применения органических удобрений может влиять на микробную биомассу, однако, эти изменения не всегда сопровождаются изменением ферментативной активности почвы (Marschner et al., 2003).

Известно, что внесение в почву органических материалов приводит к резкому увеличению численности сапротрофных бактерий (Мишустин и др., 1979; Лысак и др., 2000), доли целлюлозоразлагающих микроорганизмов в структуре микробного сообщества (Добровольская и др., 2001), появлению в значительных количествах специфических микроорганизмов, таких как термофилы (Мишустин и др., 1979).

Рассмотрим подробнее особенности изменения комплекса сапротрофных бактерий при внесении в почву органических материалов. В первой фазе распада органических остатков, особенно растительного происхождения, в почвах преобладают неспороносные бактерии, затем начинают размножаться аммонифицирующие бактерии рода *Bacillus*. Это связано с тем, что для их развития необходимо наличие в среде органического азота, т.е. они могут выдерживать конкуренцию с другими бактериями только при наличии в среде значительного количества белка. Но если в почву вносятся органические материалы богатые белком, то бактерии рода *Bacillus* получают относительно

хорошие возможности для быстрого размножения одновременно с неспороносными бактериями. Обычно же они появляются в бактериальном сообществе значительно позже, когда в среде накапливаются белковые продукты микробного синтеза. Примечательно, что в период размножения бациллярных форм в загрязненных органическими азотсодержащими веществами почвах лишь сравнительно небольшой процент их находиться в покоящемся состоянии в виде спор, тогда как в незагрязненных почвах в состоянии спор пребывает значительная часть спорообразующих бактерий. В процессе самоочищения почвы происходит возрастание доли спор (Мишустин и др., 1979).

Об органическом загрязнении почвы может свидетельствовать наличие определенных видов микроорганизмов. Так, например, в почвах подзолистой зоны практически не встречаются бактерии группы *Bac. mesentericus* и *Bac. subtilis*, но они содержатся в большом количестве в навозе и компостах. Поэтому в окультуренных подзолистых почвах, куда вносились органические удобрения, наблюдается возрастание указанной группы бактерий (Мишустин и др., 1979).

Другим специфическим индикатором внесения в почву органических удобрений является численность термофильных микроорганизмов (Мишустин и др., 1979). Термофильные микроорганизмы – это специфическая группа микроорганизмов, способных развиваться при высоких температурах. Термофилы представляют собой таксономически сборную группу. Наиболее богато они представлены среди бактерий. Значительное большинство теплолюбивых бактерий относится к роду *Bacillus*, но среди них встречаются формы не образующие спор.

Микроорганизмы с повышенным температурным оптимумом развития активно размножаются лишь в местах, имеющих высокую температуру. Попадая в субстраты внешней среды, имеющие низкую температуру, термофильные микроорганизмы переходят в покоящиеся состояние. Это позволяет использовать их в качестве показателя специфического загрязнения окружающей среды. В качестве очагов размножения термофилов и распространения их в окружающей среде наиболее практическое значение имеют навоз и всевозможные компосты.

Присутствие теплолюбивых микроорганизмов установлено в почвах весьма различных широт, но их обилие зависит, в первую очередь, не от географических условий, а от степени сельскохозяйственного использования почв (Мишустин и др., 1979).

Таким образом, по наличию в почвах несвойственных им групп микроорганизмов и повышенному уровню ферментативной активности можно судить о масштабах поступления в почву различных органических материалов.

1.3 Трансформация микробных сообществ почв под влиянием древнего антропогенного воздействия

Вопрос об изменении свойств микробных сообществ почв в результате древнего антропогенного воздействия недостаточно освещен в литературе. По данной теме имеется ряд работ О. Е. Марфениной с коллегами, в которых были показаны 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). Так, авторами было установлено, что культурные слои древних поселений имеют специфические микологические свойства, которые могут быть использованы для индикации древних антропогенных воздействий. К таким свойствам относятся видовой состав, различные показатели видовой (разнообразие, соотношение отдельных групп грибов, доминантные и индикаторные виды) и биоморфологической (соотношение спор и мицелия, размерные показатели спор) структуры грибных сообществ. Кроме того было показано, что удачным примером микологической индикации почв древних поселений может быть использование группы кератинофильных грибов. Активное и обильное заселение кератиновых субстратов этими грибами позволяет дифференцировать участки культурного слоя, различные по интенсивности древнего хозяйственного использования (Иванова и др., 2006). Авторами было показано, что в культурном слое аланских памятников Кисловодской котловины максимальная кератинолитическая активность характерна для грунта пола жилых построек, а

для грунта уличных проходов, перекрытий и обмазок были характерны значительно более низкие значения этого показателя (Иванова и др., 2006). Также, этот метод был успешно применен при изучении поселений кобанской культуры на культурном слое, возраст которого превышал 3000 лет (Борисов и др., 2013). В работе были использованы методы почвенной микробиологии и энзимологии для выявления в культурном слое поселений мест, где мог содержаться скот. В таких ареалах в почву поступало значительное количество шерсти и мочевины, что вызывало всплеск численности кератинолитических грибов и уреазной активности. При этом, если повышенная плотность кератинолитических грибов в почве, вероятнее всего, является универсальным индикатором проживания человека на данной территории, то 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 ферментативного пула почвы (Борисов и др., 2013).

Варьирование значений уреазной активности культурного слоя на различных участках поселения дает возможность установить инфраструктуру памятника и выявить жилые и производственные зоны (Чернышева и др., 2014а, 2014б), а также локализовать зону интенсивной хозяйственно-бытовой деятельности, в некоторых случаях уточнить характер последней в связи с общей планировкой и расположением конкретных сооружений (Чернышева и др., 2012; Гак и др., 2014).

Для изучения последствий сельскохозяйственного воздействия на почвы в прошлом проводились работы по изучению микробиологических свойств окультуренных почв монастырей XVI–XVII вв. При исследовании окультуренной почвы Иверского монастыря была выявлена повышенная потенциальная биологическая активность погребенного пахотного горизонта агрозема по сравнению с современным горизонтом агрозема и почвой фоновой территории. Для погребенного пахотного горизонта была характерна большая численность бактерий и актиномицетов по сравнению с фоновой почвой (Новиков, Степанов,

2000). В другой работе при исследовании древних окультуренных почв таежно-лесной зоны было выявлено, что в агростратоземах, в отличие от фоновых почв наблюдалось более равномерное распределение общей численности бактерий по профилю. Кроме того, таксономическая структура бактериальных комплексов агростратоземов имела существенные отличия от естественных аналогов: так, структура бактериального комплекса агростатоземов характеризовалась более высоким разнообразием и обилием коринеподобных форм (Лысак и др., 2004).

Что же касается изучения влияния древнего антропогенного воздействия на ферментативную активность, то на этот счет имеется лишь работа (Dick et al, 1994), в которой было показано, что в почве заброшенной древней земледельческой террасы (около 1500 л.н.) сохранился высокий уровень фосфатазной и амидазной активности, превышающий таковой для современной фоновой почвы и для почвы современной возделываемой террасы. Амидаза – это фермент, участвующий в минерализации органического азота. Высокий уровень амидазной активность авторы связывают с попаданием в почву больших количеств органических веществ богатых азотом, таких как навоз, остатки бобовых растений, гуано. Эти материалы стимулируют развитие микрофлоры и связанную с ней ферментативную активность для гидролиза органического азота в его неорганические формы доступные для растений. Кроме того, авторы указывают на то, что высокий уровень амидазной активности говорит о применении органических удобрений в прошлом и до настоящего времени влияет на функционирование почвенного микробного сообщества. Другими авторами было показано, что внесенные органические удобрения даже через 400 лет влияют на уровень амидазной активности почвы, выведенной из сельскохозяйственного оборота (Frankenberger, Dick,1983).

Таким образом, основываясь на имеющихся литературных данных, а также на том положении, что в памяти почвы может сохраняться информация о факте поступления в нее какого-либо органического субстрата в виде количественных и качественных изменений свойств микробных сообществ, мы можем говорить о возможности проведения реконструкции характера древнего антропогенного

воздействия, используя методы почвенной микробиологии. Для решения этой задачи могут успешно использоваться такие параметры микробного сообщества почвы, как биомасса и численность различных групп микроорганизмов, их соотношение, таксономическая структура, а также ферментативная активность почвы. Кроме того, представляется перспективным поиск специфических групп микроорганизмов, таких как фитопатогеные грибы, термофильные бактерии и т.д.

1.4 История заселения Кисловодской котловины

Для изучения антропогенной трансформации почвенных свойств и последующего их восстановления объекты исследования должны отвечать ряду требований. И основное условие – наличие только одного этапа антропогенной эволюции. Такие участки довольно трудно выявить в современном почвенном покрове, так как в большинстве случаев почвы неоднократно испытывали антропогенное влияние в историческом прошлом, и практически все почвы в той или иной мере преобразованы в новое и новейшее время. Поэтому для обоснования возможности использования тех или них почв в качестве эталонных для изучения антропогенного влияния в прошлом необходимо иметь представление об освоении региона человеком и формах его воздействия на почвы и экосистемы на протяжении всего исторического времени.

Кисловодская котловина является одним из немногих регионов, отличающихся уникальной сохранностью археологических памятников и ландшафтов (Борисов, Коробов, 2013). Причина кроется в том, что, в отличие от других уголков Кавказа, количество населения в Кисловодской котловине постоянно то увеличивалось, то уменьшалось, вплоть до практически полного его исчезновения. Резкое снижение численности населения здесь приходится на XIV–XVIII вв.: тогда, в период незадолго до основания Кисловодской крепости в 1803 г., население в регионе практически отсутствовало (Кузнецов, 1992; Афанасьев и др., 2004).

Точно определить причины этого явления довольно трудно, но последствия его для памятников археологии оказались весьма благоприятными. Еще одним

обстоятельством, способствующим сохранности древних ландшафтов и объектов, является хозяйственное использование данной территории исключительно для нерегулярных выпасов и сенокосов (Шаманов, 1972), и полное отсутствие земледелия практически на всем изучаемом пространстве в новое и новейшее время. После основания г. Кисловодска за период XIX–XX вв. от выборки камня пострадали расположенные вблизи г. Кисловодска каменные крепости, оказались разграблены многочисленные курганные группы. Но удаленные от территории современной застройки поселенческие объекты, а также участки древнего земледелия разных форм в неприкосновенности сохранились до нашего времени (Борисов, Коробов, 2013).

Первые следы заселения Кисловодской котловины относятся к эпохе энеолита. Однако ввиду отсутствия в регионе выходов кремня или другого материала для изготовления каменных орудий (Любин, Беляева, 2002) памятники этого времени единичны, а стоянки более раннего времени неизвестны. Таким образом, согласно современным взглядам, первые обитатели Кисловодской котловины появляются здесь в V–середине IV тыс. до н.э.

Во второй половине IV–III тыс. до н.э., когда появляются поселения майкопской культуры, количество населения в Кисловодской котловине значительно увеличивается. На сегодняшний день в регионе известно 13 памятников этого времени (Кореневский, 2004). Известны работы, в которых предполагается наличие земледелия у населения майкопского времени (Скрипникова, 2004), однако, его масштабы при столь малой численности населения были невелики (Борисов, Коробов, 2013).

В последующую эпоху среднего бронзового века (II тыс. до н.э.) в регионе возникает большое количество памятников северокавказской катакомбной культуры. При этом наблюдается практически полное отсутствие поселений этого времени (Кореневский, 1990). Поэтому говорить о каком-либо интенсивном антропогенном преобразовании почв в это время нет оснований.

Последующий период на территории района исследований практически не представлен; с XIV по XII–XI вв. до н.э. имеются единичные памятники (Кореневский, 1990).

Новая страница заселения Кисловодской котловины связана с носителями кобанской культурной традиции позднего бронзового века (Козенкова, 1989). Первые памятники кобанской культуры появляются в котловине в XII–XI вв. до н.э. в верхнем и среднем течении р. Подкумок и Эшкакон (Козенкова, 1989). Но уже через небольшой промежуток времени практически вся котловина покрывается густой сетью достаточно крупных поселений. Именно с этим этапом заселения связаны беспрецедентные по своим масштабам антропогенные преобразования почв и ландшафтов в связи с высоким уровнем террасного земледелия у кобанского населения. В период с IX по VI вв. до н.э. более половины территории Кисловодской котловины оказалось распахано и террасировано, что послужило причиной палеоэкологической катастрофы в середине первого тысячелетия до н.э. в связи с резким изменением природных условий (Борисов и др., 2012; Борисов, Коробов, 2009, 2013). В результате столь масштабного преобразования почв и ландшафтов в кобанскую эпоху практически невозможно найти целинные участки в восточной части Кисловодской котловины.

Примечательно, что в западной части региона влияние кобанского земледелия на почвы и ландшафты практически не проявляется. Именно поэтому в качестве ключевых участков для данной работы были выбраны объекты именно в этой части Кисловодской котловины.

После кобанского палеоэкологического кризиса середины первого тысячелетия до н.э. произошло практически полное исчезновение населения, в результате чего Кисловодская котловина опустела приблизительно на пятьсот лет. Новые немногочисленные обитатели появляются здесь лишь в I в. до н.э.–I в. н.э., и они связаны с автохтонными племенами, испытывавшими сильное влияние сарматской культуры (Березин, 2011). До этого времени характерно отсутствие не

только оседлого земледельческого населения, но и впускных захоронений в курганах.

На рубеже эр в регионе появляются первые поселения и могильники, относимые к среднему и позднему сарматскому периоду (I в. до н.э.–IV в. н.э.). Эти памятники возникают в среднем течении р. Подкумок и нижнем течении его притоков – на месте современной городской застройки г. Кисловодска. Это, как правило, небольшие укрепления, устроенные в виде выделенных с помощью рвов и эскарпов мысовых площадок, а также укрепления в виде курганообразных возвышенностей с небольшими рвами, которые рассматриваются как наблюдательные посты. Достоверные признаки наличия земледельческой зоны у этих памятников не выявлены (Коробов, 2010).

Со второй половины V в. н.э. в Кисловодской котловине широко распространяется обряд грунтовых камерных погребений в катакомбах Т-образного типа, традиционно соотносимых с аланским населением (Кузнецов, 1962; Афанасьев, 1993; Ковалевская, 2005). К этому же периоду относятся многочисленные поселения, устроенные в виде каменных крепостей или открытых поселений. Плотность заселения Кисловодской котловины достигает своего максимума – к периоду раннего средневековья по данным Д. С. Коробова относится 370 археологических памятников, среди которых 121 укрепленных и 132 неукрепленных поселений (Коробов, 2004). В рамках данной работы исследованы земледельческие поля именно этой группы населения.

В последующий период, предположительно в середине VIII в. н.э. аланское население исчезает и вместе с этим кончается период активного освоения региона. Изменяется погребальный обряд, начинают практиковаться погребения под скальными навесами. Численность населения резко сокращается; для этого времени хорошо изучены только два поселения: Указатель и Горное Эхо (Ковалевская, 2005). Вклад этого населения в преобразование почв и ландшафтов региона был, по всей видимости, минимальный.

В X в. н.э., когда в регион вновь приходят аланские племена, начинается расцвет аланской культуры эпохи государства Алании (X–XII вв. н.э.). К этому

времени относится 4 укрепленных и 16 неукрепленных поселений, приуроченных к течению р. Подкумок (Ковалевская, 2005). Это были городские центры Аланского царства, находящиеся на основных торговых путях того времени (Кузнецов, 1992). Что касается земледельческой деятельности населения этого времени, то этот вопрос остается открытым. В работах Д. С. Коробова и А. В. Борисова не дается однозначный вывод о масштабах и формах агрогенного воздействия на почвы в этот период (Коробов, Борисов, 2012). Под сомнение ставится сам факт наличия земледелия у этого населения, так как в окрестностях двух крупнейших памятников этого времени – Рим-горы и Уллу-Дорбунлы – не было выявлено признаков сельскохозяйственного использования почв (Борисов, Коробов, 2013). В любом случае, объекты исследования, обсуждаемые в данной работе, находятся за пределами потенциальной экономической зоны поселений этого времени, и в почвах ключевых участков не было обнаружено ни одного фрагмента керамики эпохи развитого средневековья.

В результате монгольского нашествия в середины XIII в. н.э. и последовавшего за ним разгрома кавказских государств Тамерланом в конце XIV в. н.э. в регионе исчезают памятники аланской культуры (Кузнецов, 1992). На пять столетий регион практически обезлюдел. Известно лишь небольшое количество так называемых «кабардинских» курганов, датируемых в пределах XVI–XVIII вв. и редкие абазинские поселения (Броневский, 2004), исчезнувшие во время Кавказской войны. Единственным следом присутствия человека становятся сезонные карачаевские пастушьи загоны (коши).

Основание в 1803 г. Кисловодской крепости практически не отразилось на почвах и ландшафтах удаленных районов Кисловодской котловины. Эти территории продолжали использоваться в качестве пастбищ. Эта форма сельскохозяйственного воздействия на почвы сохранилась до второй половины XX-го века, после чего в связи с интенсификацией сельского хозяйства все большие площади земель стали отводить под сенокосы. Масштабы сенокосов несколько сократились в 90-е годы прошлого столетия, но в настоящее время практически вся территория Кисловодской котловины регулярно выкашивается.

Таким образом, Кисловодская котловина представляет собой уникальный район с дискретным характером заселения в историческое время. Это позволяет выбрать для изучения районы с одним хронологически хорошо датированным периодом освоения. При этом ни до, ни после этого периода, почвы не испытывали антропогенного воздействия и могут рассматриваться как залежи с периодом восстановления около 1500 лет.

ГЛАВА 2. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДВАНИЙ

Климат. Территория Кисловодской котловины закрыта горными массивами, обеспечивающими защиту от холодных ветров, благодаря чему в регионе создаются особые климатические условия. Климат региона умеренно-континентальный. Среднегодовая температура около +8ºС. Относительная влажность воздуха составляет 56–65%. Сумма температур выше 10º достигает 2400–2600ºС. Количество солнечных дней в году около 300. Самые теплые месяцы – июль-август; в этот период среднедекадные температуры превышают 20ºС. Среднедекадные температуры самого холодного месяца января на уровне -5ºС (таблица 2.1) (Агроклиматические ресурсы…, 1971).

Таблица 2.1 – Среднедекадные данные по температуре воздуха (метеостанция г. Кисловодск)

Декада	Предел	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	от	-4.5	-5	-1.5	5	11	14.5	17	19	14.5	10	4	-1.5
	до	-3.5	-4	-0.5	7	13	17	20	21.5	17	12	5.5	-0.5
2	от	-5	-4.5	0.5	7	12.5	15	18	18	12.5	8.5	2	-3
	до	-4	-3.5	2	9	14.5	18	21	20.5	15.5	10	3.5	-2
3	от	-5	-3.5	2.5	9	13.5	16	19	16.5	11	6.5	0	-4
	до	-4.5	-2.5	4.5	11	16	19	21.5	19	14	7.5	1.5	-3

Продолжительность периода с температурой выше 0ºС составляет около девяти месяцев. Безморозный период – 150–170 дней (таблица 2.2).

Давление воздуха в г. Кисловодске относительно низкое – 692 мм рт. ст.

По условиям влагообеспеченности район влажный (ГТК 1.3–1.5). Сумма осадков около 600 мм/год (таблица 2.3), из них большая часть выпадает весной и в начале лета (Агроклиматические ресурсы…, 1971).

Таблица 2.2 – Среднегодовые декадные суммы осадков (мм). (метеостанция г. Кисловодск)

Декада	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
1	4	4	6	11	26	35	34	26	19	13	7	6	
2	4	4	6	14	32	36	33	23	18	11	6	5	
3	4	5	9	18	34	35	30	21	15	8	6	5	
Всего	12	13	21	43	92	106	97	70	52	32	19	16	573

Начало осени во второй декаде сентября характеризуется устойчивой теплой и солнечной погодой. В середине октября температура воздуха переходит через 10°; отмечаются первые заморозки; дожди приобретают обложной характер.

Зима наступает в последних числах ноября–первой декаде декабря. Устойчивый снежный покров образуется во второй половине декабря, его высота составляет 15–20 см. Периодически случаются оттепели с температурами воздуха до 5–10°.

Весна наступает во второй половине марта; к этому времени разрушается устойчивый снежный покров, очень быстро нарастает тепло. К началу третьей декады апреля температура воздуха устойчиво переходит 10º.

В летний период со второй половины июня устанавливается умеренно жаркая погода, осадки носят преимущественно ливневый характер.

Рельеф и геологическое строение. Горную страну Кавказ традиционно разделяют на Большой Кавказ, Закавказскую депрессию, Закавказское нагорье и Талышские горы (Думитрашко, 1966). Наибольшими высотами характеризуется главная часть Кавказской горной страны – Большой Кавказ, протяженность которого 1500 км.

Большой Кавказ подразделяется на Западный, Центральный и Восточный Кавказ. Их границами служат горы Эльбрус и Казбек, расположенные между долинами р. Кубани и Терека и отделяющие соответственно Западный Кавказ от Центрального и Центральный от Восточного. В орографическом плане в горной

системе Большого Кавказа выделяются две основные части – Северный Кавказ или Предкавказье и Закавказье.

Северный Кавказ представляет собой равнину, которая имеет значительный подъем до 600–800 м над уровнем моря в районе г. Ставрополя (Ставропольское плато или Предкавказская возвышенность), и круто обрывается в южном направлении к долинам р. Кубани и Кумы (Щукин, 1926). На южной окраине Ставропольского плато и находится Кисловодская котловина, входящая в район Кавказских Минеральных Вод (рисунок 2.1).

Рисунок 2.1 – Карта Кавказа.

Район Кавказских Минеральных Вод входит в состав Северо-Кавказской моноклинали и представляет собой обширное, наклоненное с юга на север, предгорное плато, начинающееся у подножия Эльбруса, и оканчивающееся севернее города Минеральные Воды, начинаются степи Ставропольской возвышенности. Наклон плато обусловлен поднятием Центрального Кавказа, и в районе Кисловодской котловины составляет 5–6º.

В южной части Северо-Кавказской моноклинали расположен Скалистый хребет с максимальными высотами 2591 и 2642 м, южный склон которого крутой, часто отвесный, с перепадом высот до 1000 м. Северный склон, так называемое Бермамытского плато, представляет собой наклоненную к северу равнину, и в районе г. Кисловодска граничит с Пастбищным хребтом, с вершинами в 1500 м.

Севернее г. Кисловодска Пастбищный хребет разделяется на Боргустанский и Джинальский хребты с максимальными высотами 1544 и 1425 м соответственно, окружающие Кисловодскую котловину (рисунок 2.2).

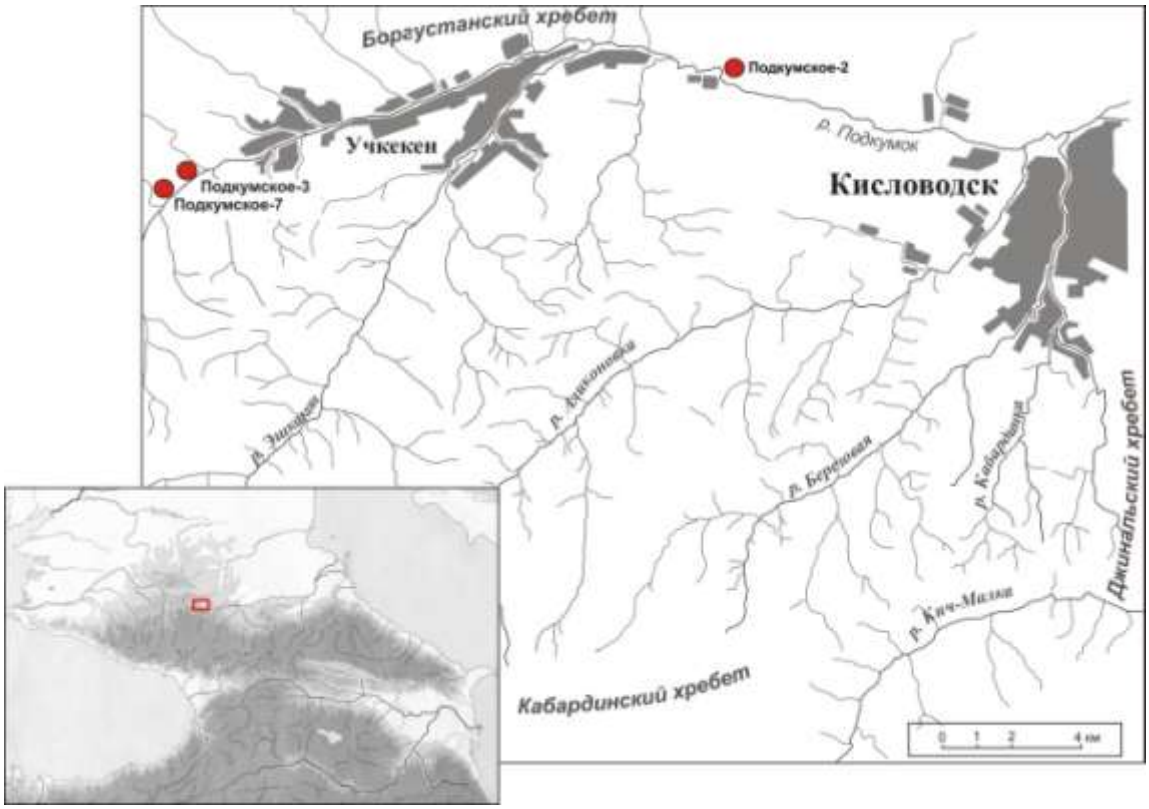

Рисунок 2.2 – Расположение объектов исследования.

Бермамытское плато разрезано глубокими долинами рек (Эшкакон, Аликоновка и Березовая), которые образовали глубокие каньонообразные ущелья с отвесными склонами.

Таким образом, исследуемый регион представляет собой куэстовую область северного склона Большого Кавказского хребта, полого наклоненную с юго-запада на северо-восток. Согласно принятому делению на высотные зоны,

северная часть Кисловодской котловины в районе г. Кисловодска с высотами от 600 до 1500 м относится к горной зоне, а южная часть с высотами от 1500 до 2600 м соответствует высокогорной зоне (Калоев, 1981).

Геологическое строение Кисловодской котловины довольно сложное. Наиболее древние отложения соответствую верхнему отделу юрского периода. К ним относятся пестро окрашенные бурые, красные, серые и зеленоватые алевролиты, песчаники, гравелиты, брекчия и красная дресва (Геология СССР, т. IX, 1968). Эти отложения вскрываются в долинах р. Аликоновки и Березовой. Большая часть территории сложена отложениями нижнемелового периода. Среди них преобладают песчано-глинистые породы; карбонатные осадки довольно редки и встречаются только в самых нижних слоях, где преобладают доломитизированные светло-серые кварцево-известковистые песчаники и известняки. Зачастую эти отложения перекрываются мощной толщей буровато-серых, желтовато-серых и кремовых доломитизированных известняков и мергелей с прослоями темно-серых и зеленовато-серых карбонатных глин. В отдельных местах эти отложения перекрываются слоями оолитовых известняков, глинистых песчаников и песчанистых глин. Песчанистые оолитовые известняки бурого цвета перестилаются слоями глинисто-известковистых темно-серых тонкозернистых песчаников.

Наиболее поздние слои нижнемеловой системы представлены песчаниками и песчанистыми глинами. Эти отложения преимущественно встречаются в северо-восточной части Кисловодской котловины. Там же вскрываются рыхлые серые и зеленовато-серые глауконитово-кварцевыми песчаниками и песчанистыми глинами. Нижнемеловые отложения перекрываются четвертичными породами аллювиальной и делювиальной природы, которые распространены локально, не образуют сплошного ковра и развиты, преимущественно, по долинам рек и балок, а также в нижней части склонов.

Отложения верхнего мелового периода в районе Кисловодской котловины южнее р. Подкумок практически полностью отсутствуют. Эти породы слагают Боргустанский хребет и вскрываются лишь севернее г. Кисловодска, где они

представлены выходами мелоподобных известняков.

Гидрография. Главной водной артерией района является р. Подкумок – крупнейший правый приток р. Кумы. В районе г. Кисловодск в р. Подкумок впадает р. Аликоновка, долина которой очень глубоко врезана; склоны крутые и обрывисты; р. Аликоновка имеет большое количество притоков, большая часть которых также глубоко врезана в коренные породы (Агроклиматические ресурсы…, 1971).

В черте города в р. Подкумок впадает также р. Березовая. Долина ее в верхнем течении также очень глубока. Река Березовая принимает несколько довольно значительных притоков, среди которых р. Белая и р. Кабардинка со своими притоками Ольховкой и Сухой Ольховкой (рисунок 2.2). Южной границей Кисловодской котловины принято считать долину р. Кич-Малки.

Питание рек в большинстве случаев грунтовое, значительную роль в питании рек играют и атмосферные осадки. Режим увлажненности неустойчивый, со значительными колебаниями, и зависит от метеорологических условий. Химический состав вод региона и степень минерализация вод рек чрезвычайно неоднородна.

Водность рек исследуемого района очень неустойчива; характерна летняя и зимняя межень, и довольно бурное весеннее половодье, которое начинается в середине февраля и заканчивается в конце марта. После спада весеннего половодья устанавливается летне-осенняя межень, прерываемая повышением уровней в период ливневых дождей.

Растительность. Район исследования относится к Кисловодскому флористическому району Эльбрусского округа Эльбрусской подпровинции Кавказской провинции. При этом собственно Кисловодский район подразделяется на Дарьинский, Боргустанский и Джинальский подрайоны (Галушко, 1978; Иванов, 1998).

Флора подрайона Дарьинского подрайона представлена 1172 видами. Из них 15 встречаются только в этом подрайоне. В южной части подрайона на Дарьинских высотах расположены крупные лесные массивы, с участием реликтовых видов клена светлого (*Acer laetum),* рябины глоговина *(Sorbus torminalis),* тиса ягодного *(Taxus baccata),* пиона кавказского *(Paeonia caucasica),* хмелеграба обыкновенного *(Ostrya carpinifolia)* и некоторых других. На севере подрайона развиты остепненные луга и луговые степи. Встречаются смешанные группировки с субальпийскими элементами. Так на г. Бекет южнее ст. Бекешевской вместе с катраном Стевена (*Crambe steveniana)* и ковылем красивейшим (*Stipa pulcherrima)* встречаются оносма кавказская (*Onosma caucasica)* и горечавка семираздельная (*Gentiana septemfida).*

Боргустанский подрайон ограничен с юга Боргустанским хребтом, постепенно снижающимся к г. Ессентуки, с севера – долиной р. Бугунта. Район практически безлесный, отдельные лесные массивы встречаются по балкам. Характерно развитие петрофильных группировок на южных склонах хребта, а также остепненных лугов и луговых степей. Во флоре подрайона насчитывается 1211 видов, из них 25 характерны только для этого подрайона.

Джинальский подрайон охватывает высокогорья Кабардинского и Джинальского хребтов и их отрогов, тянущихся от г. Кисловодска по правобережью р. Подкумок с севера и р. Джуца с востока. Для района характерно развитие субальпийских лугов и небольших лесных массивов на северных склонах и плато, а также петрофильных группировок на южных склонах. По количеству видов является самым богатым в Кисловодском флористическом районе. Его флора насчитывает 1334 вида, из них 97 в других подрайонах не встречаются.

Почвенный покров. Согласно почвенно-географическому районированию горных систем по типам вертикальной зональности, территория Кисловодской котловины относится к Северо-Кавказкой провинции Большого Кавказа (Фридланд, 1986). Почвенный покров здесь представлен мало- и среднемощными

дерново-карбонатными выщелоченными и типичными почвами на элювии известняков, а также мало- и среднемощными горными черноземами на элюводелювии глин и песчаников нижнего мела.

Для дерново-карбонатных почв характерна темная окраска и комковато-зернистая структура верхнего гумусового горизонта. Мощность его зависит от глубины залегания плотных невыветрившихся пород. Эти почвы обычно маломощны и сильноскелетны; содержание гумуса составляет 4–6%, азота – 0.2–0.3%; подвижных форм фосфора очень мало. Емкость поглощения составляет 40–60 мг-экв/100 г почвы. В составе поглощенных катионов преобладают кальций и магний, насыщенность высокая, реакция в верхних горизонтах слабощелочная, в нижних щелочность возрастает (Казеев и др., 2004).

Горные черноземы залегают в районах с высотными отметками над уровнем моря от 1000 до 1500 м (Антыков, Стоморев, 1970). Они приурочены к платообразным вершинам Пастбищного хребта к востоку от р. Кубани и к вершинам горных массивов Скалистого хребта к западу от р. Кубани. Эти почвы можно встретить повсеместно в юго-западной части Предгорного района, в районе Боргустанского плато, в северной части Малокарачаевского района. Горные черноземы залегают по речным долинам, вогнутым южным, восточным и западным склонам, на платообразных вершинах.

Материнскими породами служат чаще всего карбонатные продукты выветривания древних осадочных пород: известняки, доломиты, мергели, перекрытые глинами и суглинками.

Горные черноземы развиваются под разнотравной луговой растительностью.

Особенностью горных черноземов является укороченность почвенного профиля. Мощность горизонта А колеблется от 10 до 35 см, горизонтов А+В – 40–70 см. На пониженных элементах рельефа иногда встречаются черноземы с мощностью более одного метра. По гранулометрическому составу они разнообразны, преобладают суглинистые, часто в разной степени каменисто-щебенчатые. Структура прочная, зернистая.

Для всех горных черноземов характерным является высокое содержание

гумуса, варьирующее в зависимости от крутизны и экспозиции склона от 5.5 до 12–15%. Горные черноземы бедны фосфором. Валовое его содержание колеблется от 0.05 до 0.10%, содержание подвижных фосфатов также невелико. Содержание общего азота в верхнем горизонте варьирует от 0.2 до 0.5%.

Характерной особенностью почвенного покрова Кисловодской котловины является его значительная нарушенность в результате активного сельскохозяйственного использования в кобанскую и аланскую эпохи (Борисов и др., 2012; Борисов, Коробов, 2013). Это привело к тому, что на значительной части региона не удается найти фоновых почв, не испытавших антропогенного воздействия в прошлом. Индикатором сельскохозяйственного воздействия является большое количество керамики, которая практически повсеместно обнаруживается в почве. В этой связи в качестве фоновых участков выбирались почвы на поверхности водоразделов на максимальном удалении от древних поселений.

ГЛАВА 3. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

3.1 Объекты исследований

Объектами исследований послужили почвы и культурные слои следующих ключевых участков: Подкумское-2, Подкумское-3 и Подкумское-7. Следует еще раз почеркнуть, что в истории развития почв на этих объектах был лишь один этап антропогенного воздействие, и этот этап пришелся на аланскую эпоху (II–VIII вв. н.э.). Ни до этого, ни после этого вплоть до настоящего времени на территории исследуемых ключевых участков не осуществлялась интенсивная сельскохозяйственная деятельность, способная вызвать заметные изменения почвенных свойств. На всех ключевых участках исследуемые территории использовались 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 полей. В качестве ключевого участка для изучения свойств культурных слоев было выбрано укрепление Подкумское-2. Этот объект является примером поселений без выраженной хозяйственной зоны. Анализ подъемного материала и шурфовка вблизи поселения не позволила обнаружить керамику в почве или иные признаки земледелия в аланскую эпоху. Это могло быть связано с почвенно-ландшафтными условиями – расположением памятника на склоне южной экспозиции, подверженном сильному иссушению в летний период, чему во многом способствовали почвообразующие породы, представленные мощным чехлом элюво-делювия мела с очень неблагоприятными водно-физическими свойствами и провальным характером водного режима. Могли играть свою роль и социально-политические причины, так как это поселение один из первых аланских памятников в Кисловодской котловине, относящийся к периоду проникновения аланского населения на новые территории (Коробов, 2013, 2014). Возможно, некоторая политическая нестабильность, возникающая в таких ситуациях, не позволяла населению заниматься земледелием. Однако, благодаря тому, что

данный памятник расположен в условиях умеренной эрозии, на нем сохранился довольно мощный культурный слой, который, как правило, отсутствует на других поселениях аланского времени V–VIII вв. Поэтому поселение Подкумское-2 в данной работе рассматривается с позиций изучение селитебного воздействия на почвы и исследования химических и микробиологических свойств культурного слоя.

Что касается сельскохозяйственного воздействия на почвы в древности, то для изучения этого типа антропогенного воздействия были выбраны почвы вблизи двух поселений более позднего времени, относящихся к периоду полного освоения Кисловодской котловины аланским населением в V–VIII вв. н.э. Как было указано выше, на поселениях этого времени не сохраняется культурный слой, так как все они расположены на мысовых участках, ограниченных с трех сторон отвесными стенами, а с напольной стороны – глубоким рвом и валом (Коробов, 2014). В этих условиях культурный слой не перекрывается наносами, и к настоящему времени оказывается полностью разрушен. Но в окрестностях этих поселений всегда обнаруживается выраженная хозяйственная зона, которая маркируется большим количеством керамики в почвах. Керамика попадала в почвы вместе с навозом с поселений и может служить индикатором внесения органических удобрений. (Wilkinson, 1982). Данное наблюдение подтверждается исследованием серии поселений V–VIII вв. н.э. в Кисловодской котловине (Борисов, 2009, 2013; Коробов, Борисов, 2012).

Рассмотрим антропогенные изменения химических свойств и биологической активности почв и культурных слоев древних поселений.

3.1.1 Культурные слои поселений и современные антропогенно-преобразованные почвы

Ключевой участок Подкумское-2. Укрепление Подкумское-2 было обнаружено в 2000 г. и по своим топографическим и фортификационным особенностям было отнесено ко II–IV вв. н.э. Позднее были получены две радиоуглеродные даты по кости животных из шурфов на поселении (Ki-18039:

1770±40 BP; 1δ 180–190 AD; 210–350 AD; 2δ 130–390 AD и Ki-18037: 1840±60 BP; 1δ 80–110 AD; 120–250 AD; 2δ 20–40 AD; 50–350 AD). Таким образом, описанное укрепление относится к земляным городищам раннего этапа аланской культуры (II–IV вв. н.э.) (Коробов, 2014).

Городище занимает мысовую площадку подтреугольной формы общими размерами 140 х 165 м, расположенную на первой террасе левого берега р. Подкумок в 650 м к северо-западу от окраины пос. Конзавод (Красный Курган) Малокарачаевского р-на Карачаево-Черкесской Республики. Оно отделено от напольной стороны рвом, по дну которого проходит проселочная дорога (рисунок 3.1, 3.2). Ров имеет внушительные размеры и, скорее всего, является древней балкой, склоны которой были подработаны путем эскарпирования. Его длина по линии северо-восток–юго-запад достигает 170 м, ширина в средней части – 50 м, глубина 10–12 м. Склоны площадки городища также имеют значительную крутизну за счет эскарпирования, особенно с южной и западной стороны. Склон с восточной стороны менее крутой и высокий – возможно, именно через него осуществлялся заезд на площадку городища.

Растительный покров на территории поселения представлен злаково-разнотравной ассоциацией с заметной долей ксерофитов.

Рисунок 3.1 – Вид на укрепление Подкумское-2.

Площадка городища неровная, она покрыта остатками строений, которые прослеживаются на поверхности в виде ряда западин, отдельных задернованных возвышенностей от развалов построек из речной гальки. Эта часть поселения была условно названа «*первой зоной освоения*». При этом примерно 1/3 площадки с юго-западной стороны не имеет на поверхности видимых сооружений, что также прослеживается на аэрофотоснимке. Эта часть поселения была условно названа «*второй зоной освоения*».

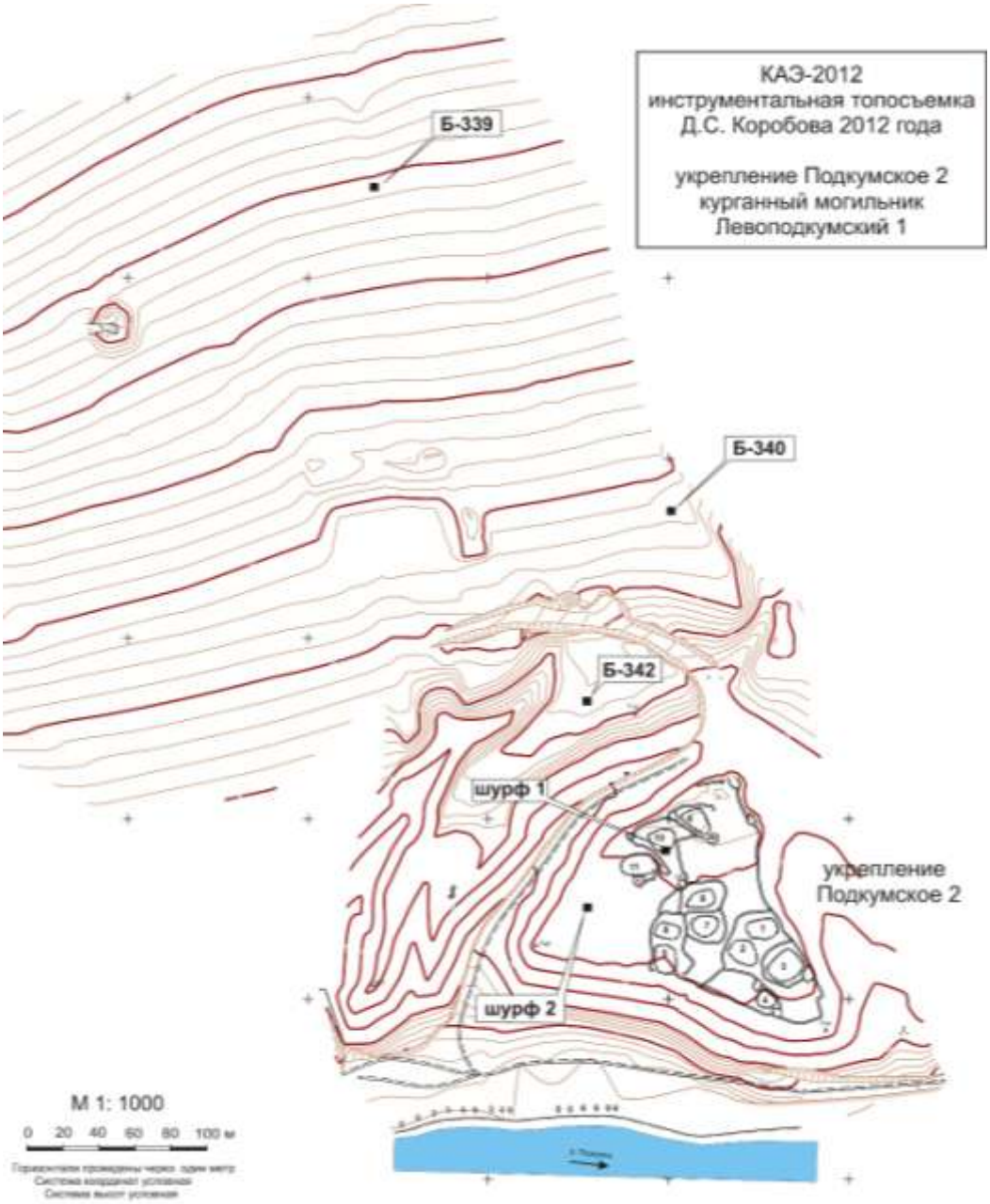

Рисунок 3.2 – Расположение почвенных разрезов на плане укрепления Подкумское-2.

Для определения мощности культурного слоя городища и времени его функционирования были заложены шурфы 1 (разрез Б-338) и 2 (разрез Б-341) размерами 2 х 2 м. В шурфе 2 на юго-западной оконечности площадки городища была расчищена хозяйственная яма округлой формы диаметром 1.2 м и глубиной 2.0 м от уровня материковой скалы.

Для изучения химических и микробиологических свойств культурных слоев поселения и почв на прилегающих к памятнику участках была заложена серия разрезов.

Разрез Б-338 (Шурф 1)

Разрез культурного слоя расположен у стенки большой западины, ограниченной со всех сторон развалами стен. Мощность почвенного профиля до 40 см.

С поверхности имеется дерновый слой Ад мощностью до 10 см. Ниже залегает горизонт А1: свежий, темно-серый, супесчаный, комковато-зернистый, уплотнен, с небольшими включениями щебня. В большом количестве встречаются корни. В слое 10–30 см встречаются в большом количестве крупные камни развала стен постройки. Нижняя граница ровная, переход заметный по увеличению щебнистости. Под камнями на глубине 30–35 см сохранился культурный слой, который оказался вмещенным в горизонт АС современной почвы. Горизонт АС свежий, серый, супесчаный, комковато-глыбистой структуры, уплотнен, с обильными включениями элювия мелоподобных известняков. С глубиной доля мелового делювия увеличивается, цвет становится более светлым до грязно белого. Редкие корни. Весь профиль вскипает. Культурный слой морфологически не обособляется от почвенной массы вследствие глубокой проработки почвообразованием, и фиксируется лишь по обильным фрагментам керамики и костей животных.

Почва – дерново-карбонатная типичная супесчаная на элюво-делювии мелоподобных известняков.

Образцы отбирали из горизонтов Ад, А1 и АС.

Разрез Б-339

Разрез был заложен в 500–700 м от поселения выше по склону за пределами потенциальной хозяйственной зоны древнего поселения на участке современной залежи. Возраст залежи около 30 лет. Растительный покров представлен злаково-разнотравной ассоциацией со следами пастбищной дегрессии. Много пастбищных сорняков.

Мощность почвенного слоя 23 см. Дернина слабо оформленная, прослеживается фрагментарно. Горизонт А1 свежий, серый с белесоватостью от карбонатов, супесчаный, комковато-призмовидной и мелкоглыбистой структуры. Уплотнен. Вскипает от соляной кислоты. В большом количестве встречаются корни. Щебнистость около 50%. Нижняя граница ровная. Переход ясный по цвету и характеру материала. В результате распашки горизонт АС полностью разрушен, припахана верхняя часть горизонта С.

Почва – дерново-карбонатная типичная супесчаная на элюво-делювии мелоподобных известняков.

Образцы отбирали из слоя 0–10 и 10–23 см.

Разрез Б-340

Разрез расположен в 200–300 м к северо-востоку от поселения Подкумское-2, на краю балки за пределами зоны современной пашни. Преимущественно злаковая растительная ассоциация с редкими пастбищными сорняками. Данный разрез является эталонным разрезом современной почвы, так как вся остальная территория, прилегающая к поселению, распахивалась в современное время. В сельскохозяйственном отношении представляет собой выпас. В почве выделяются следующие генетические горизонты:

Ад 0–3 см.

А1 3–10 см – темно-серый, супесчаный, комковато-зернистой структуры. Вскипает от соляной кислоты. Встречаются корни растений. Влажноват. Уплотнен. Нижняя граница ровная, переход ясный по цвету и резкий по появлению многочисленных фрагментов мела.

АВ 10–25 см – свежий темно-серый, супесчаный, немного светлее чем А1, более прочный и крупной структуры, комковатый. Щебнистый, доля камней в слое 10–15 см – около 50%, в слое 15–25 – более 50%. Очень плотный. Размер щебня в среднем 15–30 мм, со сглаженными ребрами. Нижняя граница ровная, переход ясный по цвету и сложению.

АС 25–35 см – делювий мелоподобного известняка, свежий, серовато-палевый, с малой долей легкосуглинистого материала. Постепенно переходит в чистый элюво-делювий мелоподобного известняка.

Почва – дерново-карбонатная типичная супесчаная на элюво-делювии мелоподобных известняков.

Образцы отбирали из слоя 0–10, 10–25 и 25–35 см.

Разрез Б-341 (Шурф 2)

Профиль почвы описан по восточной стенке археологического шурфа на юго-западной части поселения во второй зоне освоения. На этом участке не видны контуры развалов

построек, что предполагает иной характер использования территории в аланское время (II–IV вв. н.э.). Шурфом вскрыт мощный культурный слой, насыщенный керамикой и костями животных. Профиль монотонный, без четких границ генетических горизонтов. Почвообразованием переработана только верхняя часть культурного слоя до глубины 45 см. Ниже сохранился культурный слой поселения, который оказался включен в горизонт АВ современной почвы. В профиле выделяются следующие горизонты:

Ад 0–6 см.

А1 6–45 см – свежий, серый, супесчаный, непрочной комковато-порошистой структуры. Структурные отдельности разного размера с многочисленными включениями мелких фрагментов мелоподобного известняка, размер в среднем 2–3 см. В слое много мелких костей животных и фрагментов керамики. Характерно уменьшение степени проработки слоя почвообразованием с глубиной. На глубине 30–40 см материал горизонта лишь частично проработан почвообразованием. Нижняя граница ровная, переход постепенный по неоднородности слагающего материала.

АВ 45–90 см – культурный слой поселения без следов почвообразования. Пепельно-серый, неоднородный супесчаный, с глубины 60 см отмечается некоторое утяжеление гранулометрического состава, бесструктурный, пылеватый, свежий, слабо уплотнен. Насыщен керамикой, костями животных. Нижняя граница слабо волнистая, переход резкий. Подстилается элюво-делювием мелоподобного известняка без переходных горизонтов.

Почва – дерново-карбонатная типичная супесчаная с включенным культурным слоем на элюво-делювии мелоподобных известняков.

Отбор образцов проводили через каждые 10 см.

Разрез Б-342

Разрез расположен на узком, вытянутом в направлении северо-восток–юго-запад останце, находящемся севернее поселения. Отделен от поселения и прилегающих территорий глубокими оврагами с крутыми откосами. Благодаря изолированности данный участок лишь эпизодически используется под выпас, что хорошо заметно по большей густоте растительного покрова. Участок расположен в зоне наименьшего антропогенного воздействия и может рассматриваться как фоновый. Растительный покров преимущественно разнотравно-злаковый. В профиле выделяются горизонты:

Ад 0–4 см.

А1 4–9 см – свежий, темно-серый, супесчаный, комковато-зернистой структуры, с единичными мелкими фрагментами мелоподобного известняка. Много корней, уплотнен. Встречаются копролиты размером 3–4 мм. Нижняя граница ровная, переход ясный по цвету,

структуре и появлению обильных камней и щебня.

АВ 9–22 см – свежий, серый с белесоватостью от карбонатов, супесчаный, прочной крупно-комковатой структуры. Содержание щебня более 50%, очень плотный, в нижней части сцементированный. Нижняя граница ровная, переход заметный по цвету.

АС 22–33 см – свежий, палево-серый с постепенным увеличением размеров камней и уменьшением серых тонов в окраске с глубиной. Представлен элюво-делювием мелоподобного известняка палево-серого цвета. Содержание щебня более 70%.

Почва – дерново-карбонатная типичная супесчаная на элюво-делювии мелоподобных известняков.

Образцы отбирали из слоев 0–10, 10–22, и 22–33 см.

3.1.2 Почвы древних земледельческих угодий

В качестве ключевых участков для изучения влияния древнего земледелия на свойства почв были выбраны укрепления аланской культуры Подумское-3 и Подкумское-7.

Укрепление Подкумское-3 обнаружено при дешифрировании аэрофотосъемки в 2009 г. Оно представляет собой каменную крепость, которая занимает две скальные площадки на левом берегу р. Подкумок. На верхней площадке сохранились развалины сооружений – двух каменных башен внушительных размеров, нескольких построек и стен, перегораживающих удобные подходы на поселение. В устроенных на обеих площадках разведочных шурфах была обнаружена керамика эпохи раннего средневековья (V–VIII вв. н.э.) и кости животных, по которым в Киевской радиоуглеродной лаборатории получены радиоуглеродные даты (Ki-18036: 1540±60 BP; 1δ 433–574 AD; 2δ 408–638 AD и Ki-18038: 1130±40 BP; 1δ 881–980 AD; 2δ 780–991 AD).

Укрепление расположено на мысовой части склона северо-восточной экспозиции. К юго-западу от поселения расположена обширная территория потенциально пригодная для земледелия, с уклоном около 3–5º. На расстоянии около 1000 м от поселения уклон местности возрастает и на расстоянии 1500–2000 м расположен водораздел, северный склон которого обращен к поселению Подкумское-3, а южный, более крутой, к поселению Подкумское-7 (рисунок 3.3).

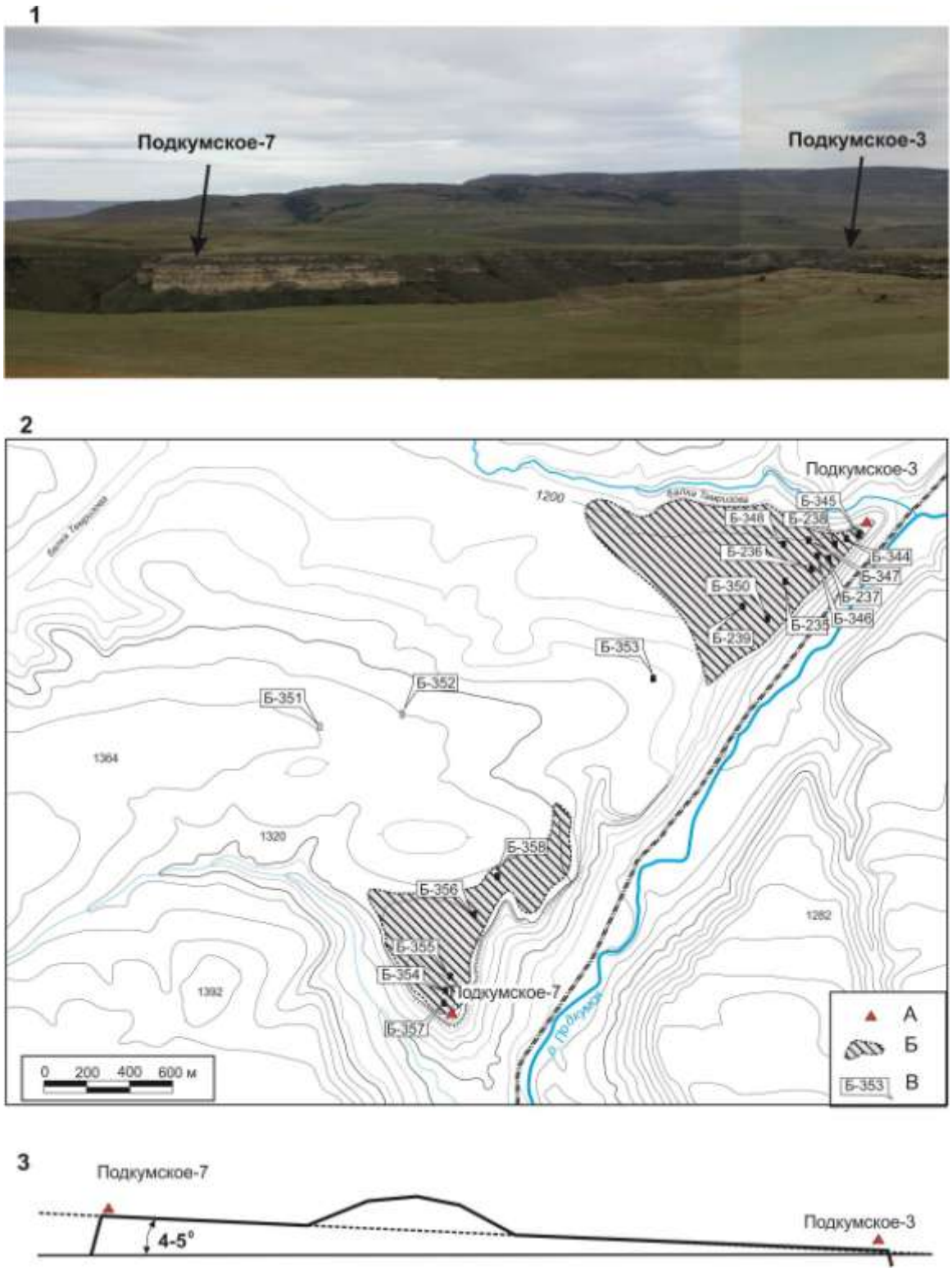

Рисунок 3.3 – Вид на поселения Подумское-3 и Подкумское-7 с юго-востока (1); потенциальные земледельческие зоны поселений, определяемые по встречаемости керамики в почвах (2) и общий характер рельефа и уклон местности (3) А – расположение поселений, Б – земледельческие зоны, В – номера почвенных разрезов.

Укрепление Подкумское-7 также выявлено при дешифрировании аэрофотосъемки в 2010 г. Памятник занимает две площадки на краю скального мыса на высоком левом берегу р. Подкумок. Верхняя площадка перегорожена мощной каменной стеной, сохранившейся в виде развала длиной свыше 20 м, и высотой до 1.5 м, к которой примыкала каменная башня. На нижней площадке укрепления был устроен разведочный шурф, в котором расчищен участок каменной стены и обнаружены фрагмент каменного жернова и многочисленная керамика эпохи раннего средневековья (V–VIII вв. н.э.). По костям животных из шурфа получена радиоуглеродная дата: Ki-18035: 1310±60 BP; 1δ 657–772 AD; 2δ 635–876 AD.

Поселения Подкумское-3 и Подкумское-7 расположены на мысовых участках в северо-восточной и юго-западной части куэсты, ограниченной с севера балкой Темризова, с востока – долиной р. Подумок и безымянной балкой – с юга (рисунок 3.3). Расстояние между поселения около 3.5 км. На мысовых участках куэсты почвообразующими породами являются выходы плиты известковистого песчаника с разной мощностью слоя делювия; на присклоновых участках почвообразующие породы представлены элюво-делювием алевритов и глин, перестилаемыми бронирующими пластами песчаника; водораздельная территория сложена делювием известняков и песчаников.

Куэстовая область имеет естественный уклон на уровне 4–5º, что связано с общим для данного региона поднятием пластов горных пород на 5–6º при формировании Большого Кавказа. Это обстоятельство определяет разную направленность эрозионно-аккумулятивных процессов в окрестностях поселений. В окрестностях поселения Подкумское-3 эрозионные процессы ориентированы в северном направлении, в окрестностях поселения Подкумское-7 – в южном. Наличие уклона местности не отражается на состоянии почвенного покрова в настоящее время, так как дернина мощностью до 10 см исключает эрозионный перенос мелкозема. Однако в период функционирования поселений и регулярной пахоты уклон местности обусловил заметные эрозионно-аккумулятивные процессы, в первую очередь на полях в окрестностях поселения Подкумское-7,

где активная эрозия привела к тому, что на отдельных участках почвенный покров был в значительной мере нарушен.

Для определения границ потенциальной земледельческой зоны поселений была заложена серия почвенных разрезов с целью изучения свойств почв и анализа керамики, которая попадала в почвы вместе с навозом с поселений и может служить индикатором внесения органических удобрений (Wilkinson, 1982). Потенциальная сельскохозяйственная зона поселения Подкумское-3 могла располагаться лишь с юго-западной стороны (рисунок 3.3), поселения Подкумское-7 – с северо-восточной (рисунок 3.3). На этих участках выполнена серия почвенных разрезов с целью установления зоны распространения керамики в окрестностях поселения. Анализ керамики из разрезов Б-239, Б-235, Б-236, Б-237, Б-238, Б-351, Б352, Б-353, Б-350, Б-346, Б-347, Б-344, Б-345 и Б-348 и сбор подъемного материала в окрестностях поселения Подкумское-3 позволил установить, что земледельческие поля располагались в переделах километровой зоны, причем большая часть керамики обнаружена на удалении не более 600 м. Близкая ситуация отмечена для поселения Подкумское-7, где были заложены разрезы Б-354, Б-355, Б-356, Б-357 и Б-358.

Ключевой участок Подкумское-3. Для изучения морфологических, химических свойств почв и биологической активности в окрестностях поселения Подкумское-3 (рисунок 3.4) из серии разрезов, приведенных выше, были выбраны разрезы образующие единую катену, длиной около 3000 м, и ориентированную в направлении водораздел–мыс.

Рисунок 3.4 – Вид с севера на укрепление Подкумское-3 (А), вид с юго-запада на поля, прилегающие к укреплению (Б).

Рассмотрим морфолого-генетические свойства почв по данной катене.

Разрез Б-344

Разрез расположен в 100–150 м от поселения Подкумское-3. В почве обнаружено значительное количество керамики, что указывает на длительное использование территории в качестве пахотного угодья. В профиле выделяются горизонты:

Ад 0–5 см.

А1 5–20 см – свежий, темно-серый до черного, легкосуглинистый, крупно-комковато-зернистый, с тенденцией образования вертикальных блоков в нижней части. На гранях структурных отдельностей белесоватый налет, структура непрочная, при разминании распадается на мелко комковато-порошистые отдельности. Внутрипедная масса не вскипает, нижняя граница волнистая, переход ясный по появлению фракции известнякового песчаника разного размера, насыщен керамикой, встречается мелкие камни, кости.

АС 20–27 см – свежий, темно-серый до черного, супесчаный, крупно комковато-зернистой непрочной структуры. Отличается большим количеством мелких и крупных фрагментов известковистого песчаника. Вскипает от соляной кислоты. С глубины 27 см залегает плита известковистого песчаника.

Почва – чернозем горный неполноразвитый легкосуглинистый на элюво-делювии известковистого песчаника.

Образцы отбирали из горизонтов А1 и АС.

Разрез Б-345

Разрез расположен в 50–70 м от поселения в зоне наиболее интенсивного антропогенного воздействия в V–VIII вв. н.э. Очень много фрагментов керамики.

Ад 0–10 см.

А1 10–20 см – свежий, темно-серый, супесчаный, непрочной крупно-комковато-зернистой структуры. На гранях структурных отдельностей белесоватый налет. Не вскипает. Встречается мелкие камни, кости. Нижняя граница волнистая, переход ясный цвету, структуре и сложению.

АС 20-33 см – свежий, темно-серый с постепенных уменьшение доли темных тонов в окраске с глубиной, супесчаный, комковато-зернистой непрочной структуры. Отличается большим количеством мелких и крупных фрагментов известковистого песчаника, встречаемость которых увеличивается с глубиной. Вскипает от соляной кислоты. С глубины 33 см залегает плита известковистого песчаника.

Почва – чернозем горный неполноразвитый супесчаный на элюво-делювии

известковистого песчаника.

Образцы отбирали из горизонтов А1 и АС.

Разрез Б-346

Разрез расположен в 200 м выше по склону от поселения Подкумское-3. В почве основная масса керамики в слое 20–40 см. В профиле выделяются горизонты:

Ад 0–3 см.

А1 3–30 см – свежий, темно-серый, легкосуглинистый, зернисто-комковатой структуры. При раздавливании распадается на более мелкие комковатые и порошистые отдельности. Слабая тенденция к образованию вертикальной делимости. Встречаются крупные копролиты, на поверхности граней слабый белесый налет карбонатов. Не вскипает. Нижняя граница ровная, переход заметный по цвету, сложению и структуре.

АВ 30–40 см – буровато-серый, среднесуглинистый, отличается появлением бурых тонов в окраске, более крупной глыбисто-призматической структуры. Не вскипает. Предположительно остаток погребенной почвы. Влажноват, плотный. Образцы отбирали через каждые 10 см

С глубины 40 см залегает плита известковистого песчаника.

Горизонт АС выражен фрагментарно, встречается в трещинах и между крупными пластами и обломками песчаника. Представлен элювием известковистого песчаника, с переходом цвета от серого до светло-серого, среднесуглинистого гранулометрического состава, непрочной мелко комковато-порошистой структуры. Влажноват, плотный. Вскипает от соляной кислоты.

Почва – чернозем горный выщелоченный легкосуглинистый на делювии известковистого песчаника.

Образцы отбирали послойно через 10 см.

Разрез Б-350

Разрез расположен у подножья склона на выровненном участке с уклоном до 5º. Обнаружено значительное количество керамики аланского времени. В профиле выделяются горизонты:

Ад 0–4 см.

А1 4–22 см – темно-серый до черного, в верхней части супесчаный, с глубины 10 см легкосуглинистый, комковато-зернистой структуры. Грани структурных отдельностей отмыты от карбонатов, не вскипает. Свежий, уплотнен. Насыщен керамикой. Нижняя граница волнистая, переход ясный по появлению известнякового песчаника разного размера.

АС 22–38 см отмечет в трещинах и между пластами песчаника. Представлен элювием известковистого песчаника с характерным изменением цвета от серого до светло-серого.

Легкий суглинок, насыщенный фрагментами песчаника разного размера. Влажноват, плотный. Вскипание слабое.

С глубины 38 см залегает плита известковистого песчаника.

Почва – чернозем горный выщелоченный легкосуглинистый на делювии известковистого песчаника.

Образцы отбирали послойно через 10 см.

Разрез Б-351

Разрез современной почвы был заложен на вершине водораздела над поселением Подкумское-3. Глубина до 70 см. Керамики нет. Разрез приурочен к выровненному участку, сложенному глинистым делювием. Это обуславливает слабое дренирование территории, с чем связано периодическое переувлажнение и формирование верховодки. В результате профиль почвы выщелочен от карбонатов; проявляются черты лугового процесса. В профиле выделяются горизонты:

Ад 0–3 см.

А1 3–40 см – буровато-темно-серый, легкосуглинистый, в верхних 10 см супесчаный непрочной комковатой структуры, при раздавливании распадается на мелкие комковато-порошистые отдельности. Плотный, влажноват. На гранях структурных отдельностей встречаются слабо выраженные охристо-бурые пятна ожелезнения. Нижняя граница ровная, переход постепенный по цвету.

АВ 40–60 см – неоднородный по цвету, в массе серовато-бурый с многочисленными морфонами желтоватого суглинка по ходам землероев, средний суглинок глыбистой структуры. Отмечается постепенное утяжеление гранулометрического состава с глубиной и возрастание доли желтых тонов в окраске. В нижних 10 см заметны зеленовато-сизые пятна. Влажный, плотный, нижняя граница ровная, переход ясный по цвету и гранулометрическому составу.

ВС 60–70 см – неоднородный, охристо-серый средний суглинок глыбистой структуры. Влажный, плотный. Постепенно переходит в почвообразующую породу, представленную зеленовато-серыми опесчанеными карбонатными суглинками с линзами крупнокристаллического песка.

Весь профиль не вскипает.

Почва – горная луговато-черноземная легкосуглинистая на делювии карбонатных глин и песчаников.

Образцы отбирались через 10 см.

Разрез Б-352

Разрез заложен в 400–450 м ниже по склону от Б-351 на участке с нормальными условиями дренирования. Некошеный участок. Данная почва может рассматриваться в качестве фона, не испытывавшего антропогенного воздействия. В профиле выделяются горизонты:

Ад 0–2 см.

А1 2–20 см свежий, темно-серый до черного, легкосуглинистый, в верхних 10 см супесчаный, комковато-зернистой структуры. Грани структурных отдельностей хорошо отмыты, не вскипает. Много корней. Нижняя граница слабо волнистая, переход ясный по появлению буроватых тонов в окраске почвенной массы и утяжелению гранулометрического состава.

АВ 20–35 см – делювиальный нанос в значительной мере проработанный почвообразованием со слабо заметными буроватыми тонами в окраске. Серовато-бурый легкий суглинок комковато-глыбистой структуры. Влажноват, плотный. Нижняя граница ровная, переход заметный по цвету и структуре.

[А1] 35–55 см – остатки гумусового горизонта погребенной почвы. Отличается более темным цветом с металлическим блеском на гранях. Легкий суглинок. Структура комковато-призмовидная, крупная, устойчивая. Керамики в этом слое нет. Нижняя граница ровная, переход постепенный по цвету и сложению.

С глубины 55 см залегает фрагментарно выраженный горизонт АС, представленный морфонами материала почвообразующей породы и гумусового горизонта в норах землероев. Постепенно переходит в почвообразующую породу – желто-зеленую карбонатную глину с включениями известковистого песчаника.

В данном случае почву этого разреза можно считать эталонной для фоновых почв ключевого участка Подкумское-3.

Весь профиль не вскипает.

Почва – чернозем горный выщелоченный легкосуглинистый на делювии карбонатных глин и песчаников.

Образцы отбирались через 10 см.

Разрез Б-353

Разрез расположен на склоне, на расстоянии около 1000 м от разреза Б-352 ниже по склону. В разрезе обнаружено несколько фрагментов керамики, что может говорить о весьма непродолжительном использовании территории с нерегулярным внесением удобрений. Участок можно рассматривать как пример периферийной аграрной зоны поселения со вспашкой без удобрения, либо с эпизодическим удобрением. В профиле почвы выделяются горизонты:

А1 3–20 см – свежий, темно-серый, супесчаный, комковато-зернистой структуры. Плотный,

нижняя граница ровная, переход постепенный по цвету и структуре.

АВ 20–40 см – в целом аналогичный А1, отличается появлением буроватых тонов в окраске, доля которых увеличивается с глубиной. Делювиальный нанос, полностью переработанный почвообразованием. Средний суглинок глыбисто-комковатой непрочной структуры. Влажноват, уплотнен. Нижняя граница ровная, переход заметный по цвету и структуре.

[А1] 40–55 см – более темный коричнево-бурый, средний суглинок, плотный, глыбистый. Влажноват. Представляет собой остатки гумусового горизонта погребенной почвы. Керамика в этом слое отсутствует.

ВС 55–75 см – переходный горизонт, неоднородный по цвету с крупными морфонами почвообразующей породы, представленной зеленовато-серыми карбонатными глинами. Структура глыбистая. Влажноват. Постепенно переходит в почвообразующую породу – желто-зеленую карбонатную глину с прослойками известковистого песчаника.

Почва – чернозем горный выщелоченный супесчаный на делювии карбонатных глин и песчаников.

Образцы отбирались через 10 см.

Ключевой участок Подкумское-7. Поселение Подкумское-7 расположено на останце южной экспозиции. Севернее укрепления расположен обширный выровненный мысовой участок, потенциально пригодный для использования в качестве земледельческих угодий (рисунок 3.5). Однако данный мыс имеет характерный подъемом к югу на 3–4°, в результате чего нарушается геоморфологическая связь мыса со склоном и не происходит поступление эрозионного материала на территорию, прилегающую к поселению. Таким образом, весь мысовой участок представляет собой зону квазиравновесного состояния и эрозии (Самойлова, 1983). На мысу в подъемке много керамики аланского времени. В рельефе заметны валы, представляющие собой, возможно, остатки межевых стен, что было характерно для организации земельных наделов этого времени (Коробов, Борисов, 2012, Борисов, Коробов 2013). Заложена серия разрезов от укрепления к склону (Б-358, Б-356, Б-355, Б-354, Б-357), ближайший к укреплению разрез Б-357 заложен на месте выборки камня для строительства стен.

Рисунок 3.5 – Раскопки шурфа на поселении Подкумское-7 (вид с запада) (А), вид с севера на поля, прилегающие к укреплению Подкумское-7 (Б).

Рассмотрим свойства почв разрезов по данной катене.

Разрез Б-357

Разрез расположен в непосредственной близости от развалов стен укрепления. С поверхности задернован. В профиле выделяются горизонты:

А1 0–11 см – свежий, темно-серый до черного, супесчаный, непрочной комковато-зернистой структуры. Обильно встречаются корни. На гранях структурных отдельностей карбонатный налет, вскипание слабое, внутрипедная масса не вскипает. По отсутствию керамики в этом слое можно считать, что он образовался после того как поселение перестало функционировать (эрозионный нанос). Однородный без включений, нижняя граница ровная, переход ясный по появлению камней и щебня.

АС 11–23 см – очень неоднородный, серый, в некоторых местах светло-серый от карбонатов, легкий суглинок, ореховато-призматической структуры. Вскипает от соляной кислоты. Крупные и мелкие камни составляют до 50% объема. Встречается керамика аланского времени.

С глубины 23 см залегает плита известковистого песчаника.

Почва – дерново-карбонатная типичная супесчаная на элювии известковистого песчаника.

Образцы отбирали из горизонтов А1 и АС.

Разрез Б-354

Разрез заложен в 30–40 м от укрепления в зоне активной эрозии. Почвенный профиль эродирован, мощность его не превышает 15 см. Верхние 4–5 см обильно задернованы. Керамика аланского времени встречается единично. По всей видимости, в аланскую эпоху участок использовался очень непродолжительное время, после чего был выведен из сельскохозяйственного оборота ввиду сильной эрозии.

Почвенный профиль представлен горизонтом А1 – свежим, черным легким суглинком, непрочной комковато мелко-порошистой структуры. Обильно пронизан корнями. Уплотнен. Встречаются мелкие фрагменты известковистого песчаника. Не вскипает.

С глубины 15 см залегает плита известковистого песчаника.

Горизонт АС выражен фрагментарно, в трещинах и западинах между плитами песчаника. В таких ситуациях представляет собой очень неоднородный, серый с переходом до светло-серого, легкий суглинок, комковато-глыбистой структуры. Вскипает от соляной кислоты. Крупные и мелкие камни составляют до 50–70% объема.

Почва – чернозем горный неполноразвитый легкосуглинистый на элювии известковистого песчаника.

Образцы отбирали через каждые 10 см.

Разрез Б-356

Очередной разрез, заложенный ниже по склону. Расположен в подсклоновой депрессии, в зоне квазиравновесного состояния и периодической аккумуляции мелкозема. С поверхности задернован. Почвенный профиль достигает мощности 40 см, дифференцирован на горизонты:

А1 0–20 см – свежий, черный, легкосуглинистый, комковато-зернистой структуры. Много керамики аланского времени. Уплотнен. Не вскипает. Нижняя граница ровная, переход ясный по появлению мелких фрагментов известковистого песчаника.

АС 20–40 см неоднородный, серый до светло-серого, легкосуглинистый, комковато-зернистой структуры, в нижней части ореховатой структуры. Плотный, влажноват. По трещинам карбонатный налет. Встречаются многочисленные включения камней, распределенных довольно равномерно по всей массе горизонта, что может рассматриваться как признак древнего агротурбирования. Не вскипает. Нижняя граница ровная, переход резкий.

С глубины 40 см залегают крупные камни делювия известковистого песчаника.

Почва – чернозем горный выщелоченный легкосуглинистый на элювии известковистого песчаника.

Образцы отбирали через каждые 10 см.

Разрез Б-358

Разрез расположен на склоне южной экспозиции (в нижней части) в зоне аккумуляции эрозионного материала. Керамики мало и ее происхождение связано с эрозионно-аккумулятивными процессами. Данный участок не распахивался в аланское время. Разрез вскрыл типичную для склоновых участков ситуацию, когда в нижней части профиля сохранилась погребенная почва, которую перекрывает делювиальный нанос, верхний слой которого проработан почвообразованием.

В профиле выделяются горизонты:

А1 0–30 см – свежий, темно-серый до черного, супесчаный, комковато-зернистой структуры. Обильно встречаются корни. Единично встречаются фрагменты керамики. Не вскипает. Нижняя граница ровная, переход ясный по появлению камней и щебня.

АВ 30–60 см – отличается появлением буроватых тонов в окраске, доля которых увеличивается с глубиной. Делювиальный нанос, интенсивно переработанный

почвообразованием. Легкий суглинок, структура непрочная комковатая, в нижней части мелко-глыбистая. Влажноват, уплотнен. По всей толще горизонта встречаются мелкие камни. Не вскипает. Нижняя граница ровная, переход постепенный по цвету и структуре.

АВ2 60–75 см – буровато-серый, с большей долей буроватых тонов в окраске легкий суглинок непрочной глыбистой структуры. Представляет собой делювиальный нанос в меньшей степени проработанный почвообразованием, по сравнению с вышележащим. Не вскипает. Нижняя граница ровная, переход заметный по цвету и структуре.

[А1] 75–100 см – остатки гумусового горизонта погребенной почвы. Темно-серый, со слабо заметными буроватыми тонами в окраске, средний суглинок с тенденцией утяжеления гранулометрического состава с глубиной. Структура глыбистая, непрочная. Грани хорошо отмыты с характерным металлическим блеском. Отмечается тенденция к вертикальной делимости. В нижней части появляются морфоны серовато-зеленой глины. Не вскипает. Нижняя граница слабоволниста, переход ясный по цвету и гранулометрическому составу.

АС 100–110 см – переходный горизонт с постепенным изменением цвета от темно-серого до зеленовато-серого, средний суглинок глыбистой структуры. С глубины 110 см залегает почвообразующая порода – элюво-делювий зеленовато-серых глин и песчаников.

Почва – чернозем горный выщелоченный супесчаный на элювии известковистого песчаника.

Образцы отбирали через каждые 10 см.

3.2 Методы исследований

3.2.1 Химико-аналитические методы

В образцах почв и культурных слоев определяли следующие показатели: pH водной вытяжки потенциометрическим методом; содержание органического углерода по Тюрину (Воробьева, 1998); 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 в лаборатории геохимии почв ИФХиБПП РАН (зав. лаб., д.б.н. А. О. Алексеев). Также в образцах проводили определение содержания

подвижных минеральных форм азота: обменного аммония (Кудеяров, 1965) и нитратов (Бочкарев, Кудеяров, 1982).

3.2.2 Методы определения биологической активности

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

Все показатели биологической активности пересчитаны на абсолютно сухую навеску.

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

Учет микроорганизмов с помощью люминесцентной микроскопии. Определение численности микробного сообщества и суммарной микробной биомассы проводили следующим методом (Методы почвенной…, 1991). Навеску почвы (1 г) помещали в стерильную пробирку, приливали 10 мл 0.5% раствора пирофосфата натрия и обрабатывали ультразвуком в режиме 30 сек. – пауза – 30 сек. с помощью ультразвукового диспергатора УЗД-1. Определение проводили в трех повторностях. Численность микроорганизмов определяли в почвенной суспензии при разведении 1:1000. Из полученного разведения после тщательного взбалтывания отбирали 10 мкл суспензии и наносили на квадрат 24 × 24 мм на предметном стекле, затем высушивали и фламбировали. Далее образцы окрашивали DAPI (25 мг/мл), для этого 15 мл красителя равномерно распределяли по стеклу и накрывали покровным стеклом, после чего помещали в термостат на 15–20 мин при 30ºС. Подсчет микробных клеток проводили в 30 полях зрения под люминесцентном микроскопом ЛЮМАМ И2 (ЛОМО). Численность микроорганизмов определяли по следующей формуле (3.1):

$$N = \frac{S_1 \cdot a \cdot n}{v \cdot S_2 \cdot c}, \qquad (3.1)$$

где *N – численность микробных клеток, S_1 – площадь препарата (мкм^3), a – количество клеток в одном поле зрения, n – показатель разведения, V – объем капли, наносимой на стекло (мкл), S_2 – площадь поля зрения микроскопа (мкм^3), c – навеска почвы.*

С использованием показателя численности клеток, а также пересчетной величины 2×10^{-14} г сухого веса на микробную клетку объемом 0.1 мкм^3 (Кожевин и др., 1975; Полянская и др., 2005) была рассчитана суммарная микробная биомасса.

Определение дыхательной активности микробного сообщества и расчет активной микробной биомассы (АМБ). АМБ оценивали по скорости субстрат-индуцированного дыхания (V_{SIR}) – выделению CO_2 после обогащения почвы глюкозой (Anderson, Domsch, 1978). Почву предварительно инкубировали при 22ºС и 60% ПВ в течение 7 сут. После прединкубации отбирали по 2 г почвы в пробирки (определение проводили в трех повторностях), закрывали резиновыми пробками и инкубировали в течение 1.5 ч при 22ºС. Затем пробирки открывали и проветривали под тягой в течение 15 мин. После этого, в пробирки вносили для определения скорости базального дыхания (V_{basal}) по 0.2 мл дистиллированной воды, а в пробирки для определения субстрат-индуцированного дыхания (V_{SIR}) по 0.2 мл раствора глюкозы (из расчета 1 г глюкозы на 10 мл воды). Затем пробирки герметично закрывали и инкубировали при 22ºС в течение 4–5 ч для определения V_{SIR} и 16–18 ч для определения V_{basal} (Ананьева и др., 1993). Параллельно закрывали по 3 пустых пробирки для определения содержания воздуха в атмосфере. После инкубации концентрацию CO_2, выделившегося из почвы, определяли на газовом хроматографе «Кристаллюкс-4000М» с детектором по теплопроводности.

Расчет скорости дыхания (мкг C-CO_2/г почвы в час) проводили по следующей формуле:

$$V_{basal(SIR)} = \frac{\Delta C \cdot 12 \cdot V \cdot 60 \cdot 1000}{100 \cdot 22.4 \cdot \Delta t \cdot g}, \qquad (3.2)$$

где $V_{basal(SIR)}$ – *скорость базального (субстрат-индуцированного) дыхания, мкл С-CO_2/1 г в час;* $\Delta C=C_{tx}-C_{t0}$, *об. %; V – объем флак., мл; 60 – переход на час; 1000 – пересчет на мкг; 100 – переход от %; 22.4 – 44 мг CO_2 занимает объем 22.4 мл;* Δ *t=tx-t0, мин.; g – навеска почвы.*

Активную микробную биомассу (мкг С/г почвы) рассчитывали по скорости субстрат-индуцированного дыхания по формуле (3.3):

$$АМБ = V_{SIR} \cdot 40.04+0.37, \quad (3.3)$$

где V_{SIR} – *скорость субстрат-индуцированного дыхания, 40.04 – расчетный коэффициент (Anderson, Domcsh, 1978).*

Метод мембранных фильтров для учета микроскопических грибов. Длину грибного мицелия определяли прямым подсчетом на мембранных фильтрах по методу Хансена в модификации Т. С. Демкиной и Т. Г. Мирчинк. Использовали мембранные фильтры из нитроцеллюлозы с диаметром пор 3.54 мкм (Методы почвенной…, 1991).

Для определения длины мицелия грибов брали навеску воздушно-сухой почвы 1 г. Затем навеску тщательно растирали в фарфоровой ступке пестиком с резиновым наконечником до гомогенного состояния. Растертую почву помещали в 500 мл чистой нестерильной дистиллированной воды. Затем суспензию встряхивали на качалке Orbital Shaker OS-20 BIOSAN (200 об/мин, 5 мин), выливали в цилиндр емкостью 500 мл и, не давая отстояться, брали 10 мл суспензии каждый раз с одного и того же уровня из середины цилиндра. Суспензию брали без отстаивания, чтобы не дать осесть частицам, на поверхности которых могут быть закреплены гифы.

Далее брали фильтр Зейца, куда вместо асбестовой прокладки на металлическую сетку помещали шесть слоев обеззоленой фильтровальной бумаги, поверх нее клали мембранный фильтр.

Фильтры предварительно кипятили в дистиллированной воде в течение 20 мин, дважды меняя воду. На фильтры Зейца помещали 10 мл почвенной суспензии и фильтровали на колбах Бунзена.

Мембранные фильтры с почвенной суспензией вынимали из фильтров Зейца, высушивали на воздухе, а затем окрашивали. Для этого в чашку Петри помещали диск фильтровальной бумаги, хорошо смоченной красителем (1%-ный раствор краски (дианиловый голубой или метиленовый синий) и 5%-ный раствор фенола в соотношении 1:5), на который клали мембранный фильтр. Фильтр окрашивали не менее 2 ч, а затем высушивали при комнатной температуре в чистой чашке Петри. После окрашивания и просушивания фильтр осветляли иммерсионным маслом и сверху накладывали покровное стекло.

Для подсчета числа грибных фрагментов и измерения длины гиф мицелия просматривали три фильтра по 50 полей зрения. Длину гиф измеряли при увеличении 7×40. Измерения проводили с помощью светового микроскопа «Opton».

Суммарную длину гиф мицелия в почве рассчитывали по формуле (3.4):

$$a = \frac{b \cdot x \cdot 10^{-4} \cdot R^2 \cdot 10^{-2} \cdot n}{r^2 \cdot 10^{-8} \cdot V \cdot C}, \qquad (3.4)$$

где *a – длина гиф в 1г абсолютно сухой почвы (см), b – средняя длина гиф на фильтре в одном поле зрения (в единицах окуляр-микрометра), x – цена деления окуляр-микрометра (мкм), R- рабочий радиус мембранного фильтра (мм), n – разведение почвенной суспензии, r – радиус поля зрения при данном увеличении (мкм), V – объем фильтруемой суспензии (мл), C – навеска почвы.*

Объем гиф (см^3) определяли по формуле (3.5):

$$V = a \cdot \pi \cdot r^2 \cdot 10^{-8}, \qquad (3.5)$$

где *a – длина гиф (см), r – средний радиус гиф (мкм).*

Отдельно учитывали длину темноокрашенного и светлоокрашенного мицелия.

Биомассу мицелия в 1 г почвы рассчитывали, принимая удельный вес гиф равным 1.05 г/см^3.

<u>Определение численности сапротрофных и термофильных бактерий.</u> Учет численности микроорганизмов проводили поверхностным посевом на чашки Петри. Количество сапротрофов учитывали на универсальной среде (Методы

почвенной…, 1991) следующего состава (г/л): глюкоза – 1, пептон – 1, дрожжевой экстракт – 1, агар – 20. Определение термофильных бактерий проводили на мясо-пептонном агаре (Мишустин, Перцовская, 1954). После предварительного диспергирования почвы (УЗД-1, 1 мин.) делали посевы из разведения почвенной суспензии 1:1000 для сапротрофов и 1:100 для термофилов.

Подсчет сапротрофных бактерий проводили через 5 дней после инкубации при 24ºС, термофилов – через 21 ч при 60ºС. Количество клеток на 1 г почвы рассчитывали по формуле (3.6):

$$N = \frac{a \cdot n \cdot V}{c}, \qquad (3.6)$$

где *N – количество клеток в 1 г почвы, a – средние количество колоний на чашке, V – объем капли, наносимой на чашку (мл), c – навеска почвы.*

Определение уреазной активности. Уреазную активность определяли по методу, который был описан E. Kandeler и H. Gerber (1988). Для этого 1 г воздушно-сухой почвы помещали в колбу емкостью 50 мл, приливали 6.5 мл раствора мочевины (0.8 М) в боратном буфере (pH 10). Колбу закрывали и помещали в термостат при температуре 37° С на 2 ч. После инкубации добавляли 15 мл 2 М NaCl. Затем содержимое колб фильтровали. К 1 мл фильтрата добавляли 10 мл дистиллированной воды и 3 мл 0.2 М NaOH, затем 5 мл салицилата натрия и 2 мл 0.1% дихлоризоцианурата натрия. Для приготовления раствора салицилата натрия смешивали 100 мл 0.12%-ного раствора нитропруссида натрия, 100 мл 17%-ного раствора салицилата натрия и 100 мл дистиллированной воды. Оптическую плотность определяли при длине волны 690 нм, после окрашивания в течение 30 мин при комнатной температуре.

Целлюлазная активность. Целлюлазную активность почв определяли аппликационным методом (Методы почвенной…, 1991), который был нами модифицирован. Для этого в чашки Петри помещали слой почвы, увлажненной до 60% ПВ, поверх которого помещали стерильную капроновую сетку с ячейками 3

× 3 мм. На сетку укладывали диск из грубой стерильной льняной ткани, которая также перекрывалась сеткой. Сверху насыпали еще один слой почвы. Чашки помещали в термостат при температуре 30ºС. После 30 сут. инкубации образцы ткани извлекали из чашек, тщательно промывали, помещали в сушильный шкаф и высушивали при температуре 105ºС до постоянного веса. Целлюлазную активность выражали в процентах и рассчитывали по изменению массы образцов ткани после инкубации от исходной.

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

4.1 Ключевой участок Подкумское-2

4.1.1 Химические свойства почв и культурных слоев

Поселение занимает мысовую площадку общими размерами 140 × 165 м, расположенную на первой террасе левого берега р. Подкумок. Площадка поселения неровная, она покрыта остатками строений, которые прослеживаются на поверхности террасы в виде ряда западин и отдельных задернованных возвышенностей, образованных развалами построек из речной гальки, соединенных стенами из того же материала. 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. Образцы культурного слоя из зондажей были отобраны с помощью почвенного бура. За пределами поселения заложены разрез на территории залежи (более 30 лет залежного состояния) и разрез 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 на данной территории (разрез Б-341) (см. главу 3, стр. 38–44).

Исследуемые почвы и культурные слои не имели существенных различий по химическим свойствам и гранулометрическому составу (таблица 4.1). По морфологическим свойствам антропогенно-преобразованные почвы (залежь и выпас) и культурные слои отличались от фоновой почвы более светлой окраской гумусового горизонта и менее прочной структурой.

Влажность в различных горизонтах исследуемых почв варьировала в пределах от 2 до 5%, и лишь в почве выпасного участка в верхнем горизонте она достигала 16%. Также повышенная влажность наблюдалась на глубине 10–30 см культурного слоя первой зоны освоения.

Содержание $C_{орг}$ в верхнем горизонте было на уровне 5–6%, с глубиной происходило равномерное его уменьшение. Исключение составил лишь культурный слой во второй зоне освоения, где почти в два раза увеличилось содержания $C_{орг}$ на глубине 80–90 см по сравнению с вышележащим слоем.

Таблица 4.1 – Химические свойства и гранулометрический состав почв ключевого участка Подкумское-2

Разрез	Горизонт/глубина, см	Влажность	$C_{орг}$	$CaCO_3$	$pH_{вод}$	Содержание частиц, %	
		%				< 0.01 мм	< 0.001 мм
Б-342 (Фон)	0–10	4.9	5.4	41.8	7.9	14	3
	10–22	4.1	3.5	50.9	8.0	15	3
	22–33	2.4	1.3	58.3	8.1	25	10
Б-340 (Выпас)	0–10	16.3	5.2	35.9	7.9	18	6
	10–25	8.6	3.8	52.7	8.0	19	9
	25–35	7.0	2.4	62.8	8.2	23	9
Б-339 (Залежь)	0–10	4.3	4.9	43.7	8.0	17	6
	10–23	3.6	4.4	44.9	8.0	21	7
Б-338 (I зона)	0–10	5.7	5.0	20.9	7.9	10	4
	10–30	8.6	3.1	21.1	7.9	11	4
	30–40	4.1	3.2	44.9	8.2	17	5
Б-341 (II зона)	0–10	4.3	5.6	44.9	8.0	12	4
	10–20	3.6	3.5	46.4	7.8	14	6
	20–30	3.3	2.5	48.5	8.0	16	7
	30–40	3.4	1.7	46.7	8.2	12	5
	40–50	3.3	1.7	44.9	8.3	19	7
	50–60	3.1	1.2	44.9	8.5	17	8
	60–70	2.6	1.2	47.9	8.4	22	8
	70–80	1.9	0.9	46.7	8.9	22	6
	80–90	2.2	1.5	47.9	8.0	21	9

Реакция среды во всех изученных почвах и культурных слоях была щелочной и в различных горизонтах регистрировалась на уровне значений 8–9.

Содержание $CaCO_3$ в различных горизонтах варьировало в пределах от 20 до 60%. Максимальные значения этого показателя были выявлены в нижних горизонтах почв фонового и выпасного участков, минимальные – в культурном слое первой зоны освоения территории, в слоях 0–10 и 10–30 см. В целом, с

глубиной происходило увеличение содержания $CaCO_3$, за исключением почвы залежного участка и культурного слоя второй зоны, где с глубиной этот показатель варьировал незначительно. Гранулометрический состав во всех изученных почвах варьировал от супесчаного в верхней части профиля до легкосуглинистого в нижней части, кроме культурного слоя первой зоны освоения территории, где весь профиль был супесчаным.

Существенные различия между фоновой и антропогенно-преобразованными почвами были выявлены лишь в отношении содержания подвижных фосфатов (таблица 4.2). Содержание фосфатов в почвах окрестностей поселения в различных горизонтах варьировало от 1.54 до 3.72 мг P_2O_5/100 г почвы, причем, если в фоновой и выпасной почвах происходило равномерное их уменьшение с глубиной, то в почве залежи по всей толще содержание фосфатов было примерно одинаковым. В культурных слоях поселения содержание подвижных фосфатов было существенно выше, чем в современных антропогенно-преобразованных почвах. В культурном слое первой зоны освоения максимальное содержание фосфатов было выявлено на глубине 10–30 см, где оно было в 1.7 раза выше, чем в верхнем горизонте фоновой почвы. В культурном слое второй зоны содержание подвижных фосфатов по всей толще изменялось в пределах от 5.00 до 13.82 мг P_2O_5/100 г почвы, с максимумом на глубине 50–60 см. Кроме того, здесь было определено содержание валового фосфора. Максимальные содержания валового фосфора, так же как и подвижных фосфатов, были выявлены на глубине 40–60 см, однако не было установлено тесной взаимосвязи между содержанием валового фосфора и подвижных фосфатов в толще культурного слоя (рисунок 4.1).

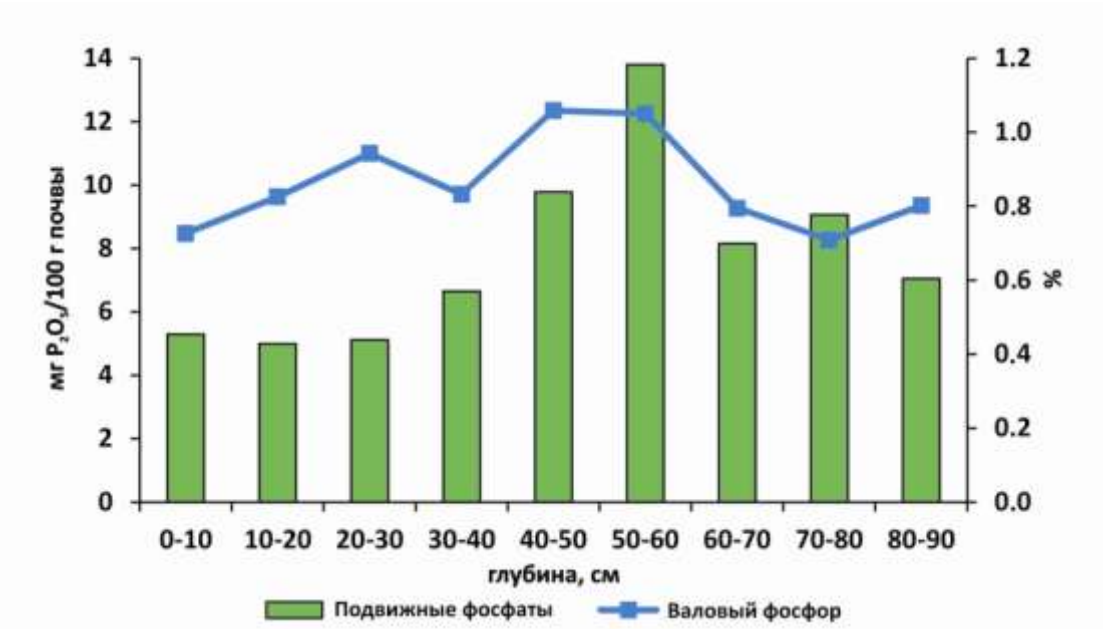

Рисунок 4.1 – Содержание подвижных фосфатов и валового фосфора в культурном слое второй зоны освоения (разрез Б-341).

Максимальное (3.27 мг N/100 г почвы) содержание нитратного азота выявлено в почве выпаса в гор. А1, вниз по профилю оно уменьшалось до 0.94 мг N/100 г почвы (таблица 4.2). Примечательно, что в культурном слое первой зоны, предположительно используемой в качестве загонов для скота, содержание нитратного азота также было высоким, вниз по профилю оно уменьшалось от 2.73 до 0.27 мг N/100 г почвы. В почве залежного участка и в культурном слое второй зоны содержание $N\text{-}NO_3^-$ составляло 1.42 мг N/100 г почвы в верхнем горизонте (слое), и вниз по профилю происходило уменьшение его содержания. В культурном слое второй зоны на глубине 50–70 см содержание $N\text{-}NO_3^-$ было выявлено лишь в следовых количествах. В фоновой почве выявлено минимальное содержание нитратного азота, здесь оно не превышало 0.82 мг N/100 г почвы по всему профилю.

Таблица 4.2 – Содержание фосфора и подвижных минеральных форм азота в почвах и культурных слоях ключевого участка Подкумское-2

Разрез	Горизонт/глубина, см	$N\text{-}NO_3^-$	$N\text{-}NH_4^+{}_{обм}$	P_2O_5	
		мг/100 г почвы		Подвижный, мг/100 г почвы	Валовый, %
Б-342 (Фон)	0–10	0.82	1.10	3.21	н.д.
	10–22	0.43	0.90	2.84	н.д.
	22–33	сл.	0.21	1.54	н.д.
Б-340 (Выпас)	0–10	3.27	1.30	3.42	н.д.
	10–25	1.21	0.45	2.61	н.д.
	25–35	0.94	0.25	1.87	н.д.
Б-339 (Залежь)	0–10	1.42	0.85	3.62	н.д.
	10–23	0.71	0.63	3.72	н.д.
Б-338 (I зона)	0–10	2.73	0.94	4.90	н.д.
	10–30	1.72	1.74	5.24	н.д.
	30–40	0.27	0.33	2.96	н.д.
Б-341 (II зона)	0–10	1.26	1.70	5.31	0.73
	10–20	0.19	0.92	5.00	0.83
	20–30	0.08	0.49	5.12	0.94
	30–40	0.18	0.30	6.72	0.83
	40–50	0.10	0.31	9.81	1.06
	50–60	сл.	0.21	13.82	1.05
	60–70	сл.	0.25	8.24	0.79
	70–80	0.19	0.59	9.11	0.71
	80–90	0.18	0.21	7.12	0.80

н.д. – нет данных; сл. – следы

Содержание азота обменного аммония, в целом, также уменьшалось с глубиной, и максимальное его содержание было выявлено в культурном слое первой и второй зон освоения на глубине 10–30 и 0–10 см соответственно, где эти показатели достигали 1.74 мг N /100 г почвы. В почвах за пределами поселения содержание $N\text{-}NH_4^+{}_{обм}$ не превышало 1.30 мг N /100 г почвы, максимальные его значения были выявлены в почве выпаса, минимальные – в почве залежного участка. Следует отметить, что практически во всех изученных почвах и культурных слоях нитратная форма азота преобладала над аммонийной. Исключением были фоновая почва и культурный слой во второй зоне освоения. И если в случае с фоновой почвой преобладание аммонийной формы азота можно рассматривать как показатель устойчивости экосистемы (Умаров и др., 2007), то

высокое содержание азота обменного аммония в культурном слое второй зоны поселения связано, по всей видимости, с особенностями использования территории.

Таким образом, селитебная нагрузка привела к существенному изменению химических свойств почв и к формированию культурного слоя как результата бытовой и производственной деятельности человека и почвообразовательного процесса. Для культурного слоя характерно резкое изменение морфологических свойств, увеличение содержания подвижных фосфатов и валового фосфора. Кроме того, хозяйственная деятельность человека привела к увеличению содержания нитратного азота, и в наибольшей степени это было характерно для культурного слоя на участке, где предположительно содержался скот.

4.1.2 Биологическая активность почв и культурных слоев

Суммарная микробная биомасса. Численность микробных клеток в различных горизонтах исследуемых почв и культурных слоев варьировала в пределах от 1.83 до 7.64×10^{11} кл. в 1 г почвы. На основе этого показателя была рассчитана суммарная микробная биомасса (СМБ) (рисунок 4.2, таблица. 4.3).

В современных дерново-карбонатных почвах максимальная СМБ была характерна для почвы фонового участка, где она составляла 3966 мкг С/г почвы (средневзвешенная величина по всему профилю). Кроме того, в этой почве была отмечена тенденция к увеличению биомассы микроорганизмов в нижней части профиля, здесь в гор. АС ее значения возросли до 5610 мкг С/г почвы. Значительное увеличение численности бактерий, растущих на мясо-пептонном и крахмало-аммиачном агарах, в средней и нижней части профиля дерново-карбонатных почв, уже отмечалось ранее некоторыми авторами (Казеев и др., 2004). В почве выпасного участка была выявлена минимальная СМБ, здесь ее средневзвешенная величина составляла 1618 мкг С/г почвы, и наименьшей микробной биомассой характеризовался гор. АВ. Некоторое уменьшение содержания микроорганизмов здесь наблюдалось в гор. АВ. В почве залежного

участка средневзвешенная величина СМБ по профилю составила 1760 мкг С/г почвы.

В культурных слоях поселения Подкумское-2 максимальная СМБ была выявлена в почве второй зоны освоения (разрез Б-341). Здесь отсутствовали какие-либо закономерности в распределение микробных клеток по профилю. В слое 0–10 см СМБ была почти вдвое меньше, чем в верхнем горизонте фоновой почвы, однако в слое 10–20 см произошло ее увеличение до 4170 мкг С/г почвы. В нижележащих слоях содержание микроорганизмов колебалось в пределах от 1950 до 3030 мкг С/г почвы. В культурном слое первой зоны освоения вниз по профилю произошло увеличение СМБ с 1690 мкг С/г почвы в слое 0–10 см до 3490 мкг С/г почвы – в слое 30–40 см.

Из вышесказанного следует, что антропогенная нагрузка, имевшая место около 1500 л.н., привела к существенному сокращению суммарной биомассы микроорганизмов в почвах и к изменению профильного распределения этого показателя. Так, в антропогенно-преобразованных почвах и культурных слоях СМБ была в 1.6–2.5 раза ниже, чем в фоновой почве.

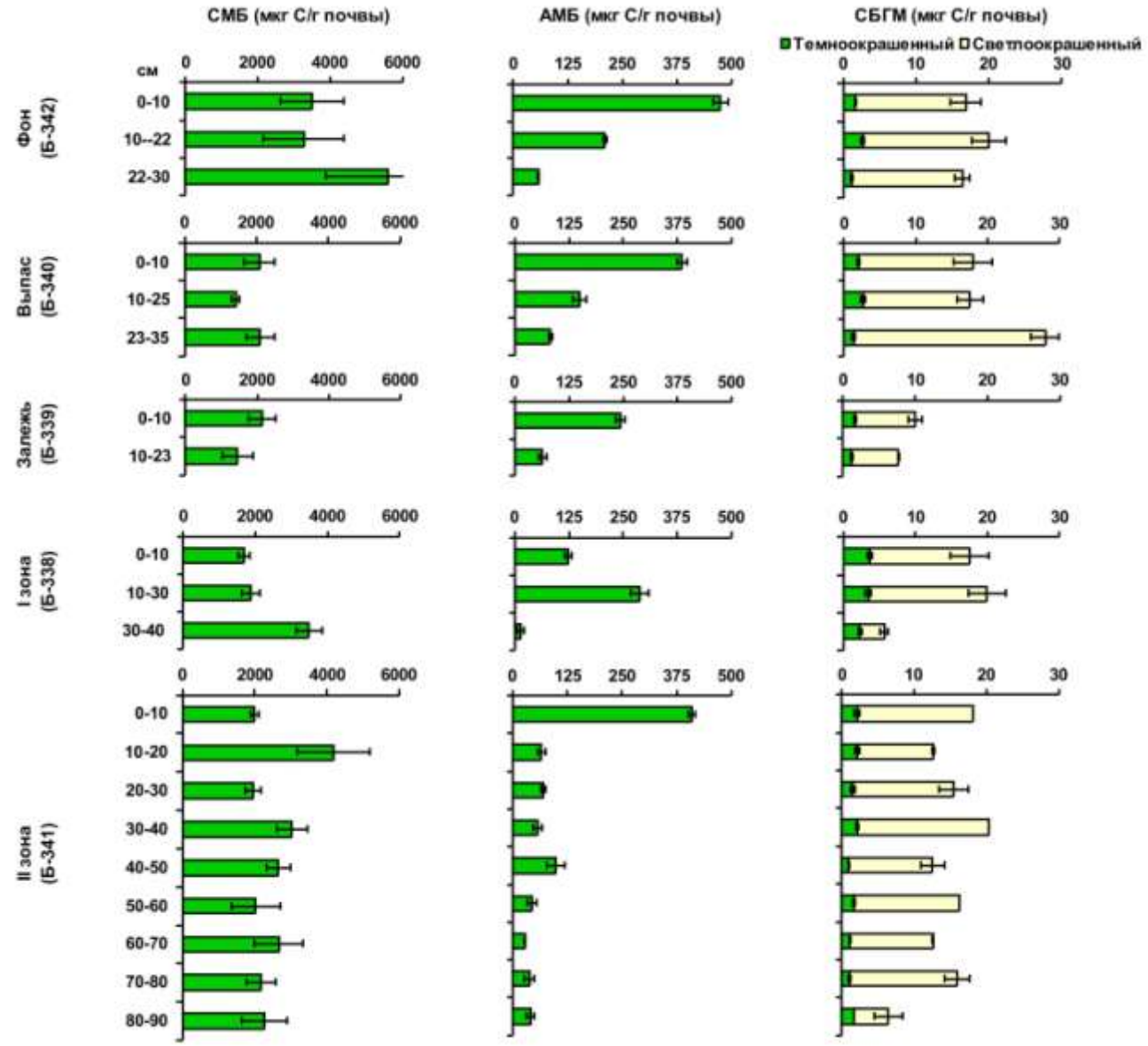

Рисунок 4.2 – Микробная биомасса почв и культурных слоев ключевого участка Подкумское-2 (СМБ – суммарная микробная биомасса, АМБ – активная микробная биомасса, СБГМ – суммарная биомасса грибного мицелия).

Таблица 4.3 – Микробиологические параметры почв и культурных слоев ключевого участка Подкумское-2

Разрез	Горизонт/глубина, см	Суммарная микробная биомасса	Активная микробная биомасса	Численность микроорганизмов, кл.×10^{11}/г почвы	Численность сапротрофных бактерий, кл.×10^{6}/г почвы	Численность термофильных бактерий, кл.×10^{3}/г почвы
		мкг С/г почвы				
Б-342	0–10	3490 ± 875	474 ± 17	4.36 ± 0.89	1.27 ± 0.15	–
(Фон)	10–22	3268 ± 1100	210 ± 4	4.09 ± 1.11	1.44 ± 0.08	–
	22–30	5606 ± 1717	58 ± 2	7.01 ± 2.15	0.52 ± 0.01	–
Б-340	0–10	2084 ± 419	386 ± 13	2.60 ± 0.52	7.45 ± 0.26	0.8 ± 0.4
(Выпас)	10–25	1424 ± 113	149 ± 15	1.78 ± 0.14	4.22 ± 0.21	–
	23–35	2095 ± 394	82 ± 4	2.62 ± 0.49	2.42 ± 0.26	–
Б-339	0–10	2150 ± 383	244 ± 11	2.69 ± 0.48	2.01 ± 0.22	1.5 ± 1.1
(Залежь)	10–23	1460 ± 441	64 ± 9	1.83 ± 0.55	2.80 ± 0.43	3.5 ± 1.2
Б-338	0–10	1689 ± 150	122 ± 8	2.11 ± 0.19	3.59 ± 0.72	–
(I зона)	10–30	1875 ± 247	288 ± 21	2.34 ± 0.25	5.69 ± 0.29	–
	30–40	3492 ± 354	12 ± 8	4.37 ± 0.44	0.39 ± 0.10	–
Б-341	0–10	1999 ± 104	410 ± 8	2.50 ± 0.13	5.51 ± 0.53	–
(II зона)	10–20	4172 ± 1011	65 ± 9	7.64 ± 2.59	1.12 ± 0.26	–
	20–30	1947 ± 217	70 ± 6	2.43 ± 0.27	5.07 ± 0.58	–
	30–40	3031 ± 434	57 ± 11	3.70 ± 0.54	1.44 ± 0.21	–
	40–50	2652 ± 324	97 ± 21	3.31 ± 0.40	1.68 ± 0.38	–
	50–60	2029 ± 668	45 ± 11	2.54 ± 0.84	1.59 ± 0.15	–
	60–70	2660 ± 667	28 ± 2	3.33 ± 0.83	1.45 ± 0.05	–
	70–80	2182 ± 407	38 ± 11	2.73 ± 0.51	1.53 ± 0.07	–
	80–90	2255 ± 627	40 ± 10	2.82 ± 0.63	1.15 ± 0.19	–

Активная микробная биомасса. В исследуемых почвах максимальная активная микробная биомасса (АМБ) (рисунок 4.2, таблица 4.3) была выявлена в почве фонового участка, отдаленного от поселения и не используемого в сельскохозяйственных целях (разрез Б-342). В гор. А1 она составила 474 мкг С/г почвы, вниз по профилю произошло резкое ее уменьшение до 210 и 58 мкг С/г почвы в гор. АВ и АС соответственно. Аналогичный характер распределения биомассы микроорганизмов, дающих респираторный отклик на внесение глюкозы, наблюдался и в почве выпаса (разрез Б-340). В данном случае значения этого показателя были заметно меньше: в гор. А1 активная микробная биомасса составляла 386 мкг С/г почвы, в гор. АВ – 149 мкг С/г и в гор. АС – 82 мкг С/г почвы. Наименьшие значения АМБ были характерны для почвы залежи, где в верхнем слое они были в 1.5 раза меньше, чем в фоновой почве. Значительное уменьшение микробной биомассы при распашке отмечалось и в ряде других работ (Полянская и др., 1997; Rasmussen et al., 1994; Schnurer et al., 1985; Mikanova et al., 2009). Характерно, что в гор. АС фоновой почвы и почвы выпаса биомасса микроорганизмов, дающих респираторный отклик на внесение глюкозы, была примерно одинаковой.

В культурных слоях наблюдалась иная картина распределения активной микробной биомассы по профилю. Так, в культурном слое, расположенном в первой зоне освоения территории (разрез Б-338) в слое 0–10 см биомасса микроорганизмов, дающих респираторный отклик на внесение глюкозы, была существенно меньше, чем в почвах окрестностей поселения, и составила 122 мкг С/г почвы. Однако на глубине 10–30 см произошло увеличение АМБ до 288 мкг С/г почвы, а на глубине 30–40 см значения активной микробной биомассы резко уменьшилась до 12 мкг С/г почвы. В культурном слое второй зоны освоения территории (разрез Б-341), напротив, в верхнем горизонте активная микробная биомасса была на уровне таковой в фоновой почве, затем она резко уменьшилась до 28–70 мкг С/г почвы. Во всей толще культурного слоя значения активной микробной биомассы были очень низкими, и лишь на глубине 40–50 см АМБ составила 97 мкг С/г почвы.

В культурных слоях первой зоны освоения, отобранных из зондажей, значения активной микробной биомассы были близки к таковым в фоновой почве, либо выше (таблица 4.4). Максимальная биомасса микроорганизмов, дающих респираторный отклик на внесение глюкозы, была выявлена в образцах культурного слоя, отобранных из зондажей 9 и 12, где она составляла около 542 мкг С/г почвы. В культурном слое зондажа 12 не наблюдалось каких-либо закономерностей в профильном распределение микроорганизмов, наблюдалось незначительное увеличение активной микробной биомассы на глубине 30–40 см. В слоях 50–60, 60–70 и 70–80 см полученные значения были недостоверными. В культурных слоях из зондажей 1, 2, 5 и 7 значения активной микробной биомассы в верхнем слое составляли 374, 321, 277 и 272 мкг С/г почвы соответственно. В изученных культурных слоях, за исключением зондажей 5, 7 и 9, на различных глубинах фиксировались вторые максимумы возрастания значений микробной биомассы. Минимальная биомасса микроорганизмов, дающих респираторный отклик на внесение глюкозы, была выявлена в зондаже 10, расположенном в 10 м от разреза Б-338. Здесь в верхнем слое она составляла 72 мкг С/г почвы, а в нижележащем слое, как и в случае с разрезом Б-338, произошло ее увеличение до 233 мкг С/г почвы. Увеличение активной микробной биомассы на различных глубинах культурного слоя может свидетельствовать о значительных поступлениях различных органических материалов во время его формирования, т.к. при поступлении органических субстратов в почву происходит увеличение биомассы микроорганизмов, дающих респираторный отклик на внесение глюкозы (Kandeler, Eder, 1993; Plaza et al., 2004; Guerrero et al., 2007; Melero et al., 2007; Масютенко и др., 2008; Liu et al., 2010; Giacometti et al., 2013).

В современных антропогенно-преобразованных дерново-карбонатных почвах в окрестностях поселения доля активной микробной биомассы от суммарной была максимальной в почве выпасного участка (разрез Б-340), где вниз по профилю эти значения уменьшились от 19 до 4%. В почве залежного участка (разрез Б-339) доля активной микробной биомассы по профилю изменялась от 11 до 4%. На территории поселения максимальная доля АМБ от СМБ наблюдалось в слое 0–10

см культурного слоя второй зоны освоения, где она достигала 21%, а в нижележащих слоях эти значения не превышали 4%. В культурном слое первой зоны освоения значения этого показателя достигали 15% в слое 10–30 см. В почве фонового участка доля активной микробной биомассы от суммарной, несмотря на высокое содержание последней, не превышала 14%. Это говорит о том, что в фоновой почве, по сравнению с почвой выпасного участка, большая часть микробного сообщества находится в покоящемся состоянии.

Таким образом, в культурных слоях поселения было выявлено уменьшение активной микробной биомассы, при этом значения этого показателя варьировали в зависимости от характера использования территории. Так, в культурных слоях первой зоны освоения, где, предположительно, содержался скот, активная микробная биомасса, как правило, была в 1.5 раза выше, чем в культурном слое второй зоны освоения. При этом не обнаружены какие-либо закономерности профильного распределения АМБ в культурном слое. Что касается современных антропогенно-преобразованных почв, то максимальные значения активной микробной биомассы были характерны для почвы фонового участка, где этот показатель был в 1.8 раза выше, чем в почвах выпаса и залежи.

Таблица 4.4 – Химические и биологические свойства культурных слоев ключевого участка Подкумское-2

Зондаж, №	Глубина, см	Влажность	$C_{орг}$	АМБ, мкг С/г почвы	$C_{мик}/C_{орг}$ (мкг $C_{мик}$×100/мкг $C_{орг}$)	qCO_2, мкг С-CO_2/мг $C_{мик}$/час	Уреазная активность, мкг NH_4^+/г почвы в час
		%					
1	0–20	6.4	5.7	374 ± 23	0.66	0.51	440.3 ± 5.2
	20–30	5.8	4.7	172 ± 4	0.37	0.87	376.3 ± 21.5
	30–40	4.1	2.8	86 ± 22	0.31	0.87	170.1 ± 2.9
	40–50	3.4	2.2	23 ± 5	0.10	4.76	138.8 ± 0.5
	50–60	3.3	1.4	28 ± 6	0.20	0.72	71.4 ± 3.5
	60–70	3.1	0.4	18 ± 5	0.48	0.64	16.8 ± 3.0
2	0–10	6.4	6.0	321 ± 19	0.54	1.10	389.1 ± 19.5
	10–20	4.8	4.0	125 ± 6	0.31	1.55	216.4 ± 3.2
	20–30	4.4	3.0	44 ± 4	0.15	2.27	173.4 ± 3.2
	30–40	3.9	2.6	41 ± 3	0.15	1.81	138.5 ± 7.9
	40–50	4.2	2.4	63 ± 15	0.26	1.93	172.6 ± 13.4
	50–60	2.0	1.0	37 ± 6	0.35	0.89	51.8 ± 2.3
5	0–20	5.9	5.2	277 ± 33	0.53	0.75	291.0 ± 6.7
	20–40	5.6	3.9	68 ± 3	0.17	1.14	187.1 ± 5.8
	40–60	4.6	3.3	44 ± 6	0.13	17.91	139.2 ± 8.7
	60–80	5.5	2.6	27 ± 4	0.10	24.64	95.4 ± 6.7

Таблица 4.4. – Химические и биологические свойства культурных слоев ключевого участка Подкумское-2 (продолжение)

Зондаж, №	Глубина, см	Влажность	$C_{орг}$	АМБ, мкг С/г почвы	$C_{мик}/C_{орг}$ (мкг $C_{мик}$×100/мкг $C_{орг}$)	qCO_2, мкг С-CO_2/мг $C_{мик}$/час	Уреазная активность, мкг NH_4^+/г почвы в час
		%					
7	0–10	8.2	6.0	272 ± 45	0.45	2.80	377.0 ± 16.5
	10–20	5.7	5.5	213 ± 4	0.38	2.87	321.8 ± 1.2
	20–30	4.9	2.9	63 ± 3	0.21	2.15	189.1 ± 14.5
	30–40	5.6	1.6	37 ± 2	0.23	1.36	104.6 ± 2.3
	40–50	4.1	1.1	27 ± 8	0.25	0.82	98.4 ± 2.2
9	0–20	6.1	5.5	542 ± 5	0.98	0.27	389.2 ± 6.3
	20–40	5.6	4.0	109 ± 4	0.27	0.44	301.1 ± 5.4
	40–60	4.2	2.6	32 ± 5	0.13	0.00	173.5 ± 8.8
10	0–20	4.1	3.2	72 ± 10	0.22	3.25	119.2 ± 1.2
	20–40	6.6	6.1	233 ± 6	0.38	0.73	224.7 ± 3.6
12	0–10	5.3	5.8	527 ± 27	0.90	0.59	330.9 ± 9.5
	10–20	5.4	4.0	154 ± 2	0.38	0.22	200.7 ± 6.1
	20–30	5.0	3.1	43 ± 6	0.14	0.77	188.2 ± 4.4
	30–40	3.9	2.9	50 ± 10	0.17	0.93	183.6 ± 5.2
	40–50	3.4	1.5	24 ± 3	0.16	0.02	66.1 ± 11.3
	50–60	4.3	1.4	9 ± 5	0.06	3.45	52.8 ± 0.1
	60–70	4.8	1.5	13 ± 9	0.09	1.31	35.1 ± 2.7
	70–80	4.2	2.0	13 ± 12	0.07	2.86	52.8 ± 1.4

Суммарная биомасса грибного мицелия. Длина грибного мицелия в различных горизонтах изученных почв варьировала в пределах от 6 до 27 м/г почвы. На основе этого показателя была рассчитана суммарная биомасса грибного мицелия (СБГМ) (рисунок 4.2, таблица 4.5) с учетом среднего диаметра гиф, равного 4 мкм.

Наибольшая биомасса грибного мицелия была выявлена в гор. АС современной почвы выпаса, где она составляла около 28 мкг С/г почвы, а в вышележащих горизонтах ее значения не превышали 18 мкг С/г почвы. Несколько меньшее содержание микроскопических грибов наблюдалось в почве фонового участка, где биомасса их мицелия варьировала в пределах от 17 мкг С/г почвы в гор. А1 и АС до 20 мкг С/г почвы в гор. АВ. При умеренной пастбищной нагрузке, если не происходит смены растительности, то, как правило, не происходит и существенного изменения структуры сообщества микроскопических грибов (Марфенина, 2005; Казеев и др., 2012). Этим можно объяснить отсутствие достоверных различий между почвами фонового и выпасного участков. Наименьшие значения биомассы грибного мицелия были выявлены в современной почве залежи, где вниз по профилю они уменьшались от 10 до 8 мкг С/г почвы. Таким образом, даже весьма непродолжительный срок сельскохозяйственного использования территории привел к существенному сокращению содержания микроскопических грибов. Этот факт уже отмечался ранее (Полянская и др., 1997; Лысак и др., 2004; Полянская, Звягинцев, 2005; Jiang et al., 2011).

Иные закономерности выявлены в отношении биомассы грибного мицелия в культурных слоях поселения. Так, в культурном слое, сформированном в первой зоне освоения территории (разрез Б-338), максимальная биомасса грибного мицелия была отмечена на глубине 0–30 см, где она составляла 18–20 мкг С/г почвы. При этом содержание микроскопических грибов было лишь не намного меньше, чем в современной фоновой почве. Во второй зоне освоения территории (разрез Б-341) биомасса микроскопических грибов по профилю изменялась в пределах от 6 до 20 мкг С/г. Минимальные значения были выявлены в слое 80–90

см, а максимальные в слое 30–40 см. Кроме того, в этой почве наблюдался довольно сложный характер распределения микроскопических грибов. Здесь было выявлено несколько максимумов: в слое 0–10, 30–40, 50–60 и 70–80 см.

Во всех изученных почвах в структуре грибного мицелия преобладали светлоокрашенные гифы, их доля в различных горизонтах изученных почв и культурных слоях составляла 60–95%. Максимальная доля темноокрашенного мицелия была выявлена в культурном слое первой зоны. Темноокрашенный мицелий содержит пигменты типа меланинов, которые определяют его устойчивость против лизиса и высыхания (Демкина и др., 2010). Поэтому можно предположить, что в культурном слое первой зоны освоения сложились наиболее неблагоприятные условия для микроскопических грибов вследствие антропогенного прессинга.

Таким образом, в культурных слоях поселения значения СБГМ были сопоставимы со значениями этого показателя для верхних горизонтов фоновых почв, но без характерных закономерностей изменения с глубиной. В современных антропогенно-преобразованных почвах на величину суммарной биомассы грибного мицелия наибольшее влияние оказала распашка; при этом за 30 лет пребывания в залежном состоянии не произошло восстановления этого показателя до уровня фоновых значений.

Таблица 4.5 – Длина и биомасса грибного мицелия в почвах и культурных слоях ключевого участка Подкумское-2

Разрез	Горизонт/глубина, см	Длина грибного мицелия, м/г почвы	Биомасса темноокрашенного мицелия	Биомасса светлоокрашенного мицелия	Суммарная биомасса грибного мицелия	Доля светлоокрашенного мицелия, %
			мкг С/г почвы			
Б-342	0–10	15.9 ± 2.1	1.65 ± 0.08	15.17 ± 2.14	16.82 ± 2.22	90.2
(Фон)	10–22	19.0 ± 2.5	2.64 ± 0.23	17.36 ± 2.37	20.01 ± 2.60	86.8
	22–30	15.5 ± 1.0	1.19 ± 0.14	15.16 ± 0.96	16.35 ± 1.10	92.7
Б-340	0–10	17.0 ± 2.6	2.07 ± 0.13	15.89 ± 2.66	17.96 ± 2.79	88.5
(Выпас)	10–25	16.6 ± 2.0	2.70 ± 0.29	14.85 ± 1.83	17.55 ± 2.12	84.6
	23–35	26.5 ± 2.1	1.35 ± 0.22	26.63 ± 1.97	27.99 ± 2.19	95.2
Б-339	0–10	9.4 ± 1.4	1.60 ± 0.15	8.34 ± 0.97	9.94 ± 1.12	83.9
(Залежь)	10–23	7.3 ± 0.2	1.14 ± 0.16	6.53 ± 0.05	7.67 ± 0.20	85.1
Б-338	0–10	16.6 ± 2.9	3.70 ± 0.33	13.86 ± 2.71	17.56 ±3.03	78.9
(I зона)	10–30	18.9 ± 2.8	3.48 ± 0.38	16.43 ± 2.58	19.91 ± 2.96	82.5
	30–40	5.4 ± 0.8	2.34 ± 0.29	3.33 ± 0.55	5.67 ± 0.84	58.8
Б-341	0–10	15.0 ± 2.1	2.09 ± 0.36	16.08 ± 0.01	18.17 ± 0.37	88.5
(II зона)	10–20	10.6 ± 1.5	2.12 ± 0.36	10.54 ± 0.14	12.67 ± 0.50	83.2
	20–30	13.8 ± 1.8	1.57 ± 0.31	13.88 ± 2.05	15.45 ± 2.36	89.8
	30–40	18.4 ± 0.9	2.12 ± 0.20	18.23 ± 0.01	20.35 ± 0.21	89.6
	40–50	11.6 ± 1.2	0.92 ± 0.08	11.64 ± 1.65	12.56 ± 1.73	92.7
	50–60	15.8 ± 0.8	1.65 ± 0.15	14.60 ± 0.06	16.25 ± 0.21	89.8
	60–70	13.1 ± 1.0	1.10 ± 0.05	11.49 ± 0.13	12.59 ± 0.18	91.3
	70–80	15.6 ± 1.0	1.04 ± 0.20	14.92 ± 1.76	15.96 ± 1.96	93.5
	80–90	5.6 ± 1.5	1.67 ± 0.01	4.77 ± 2.02	6.44 ± 2.03	74.1

Численность сапротрофных бактерий. Численность сапротрофных бактерий в современных антропогенно-преобразованных почвах и в культурных слоях аланского времени существенно превышала таковые для фоновой почвы (рисунок 4.3, таблица 4.3). В культурных слоях на территории поселения максимальная численность сапротрофных бактерий была выявлена в первой зоне освоения (разрез Б-338), где она составляла 3.84 млн. кл./г почвы, причем максимум этого показателя был отмечен на глубине 10–30 см. В культурном слое второй зоны освоения этот показатель был в 1.7 раза ниже, причем здесь наблюдалось два максимума в слое 0–10 и 20–30 см.

В современных антропогенно-преобразованных почвах максимальная численность сапротрофных бактерий была выявлена в почве выпасного участка (разрез Б-340), где она составляла 4.00 млн. кл./г почвы (средневзвешенная величина по профилю), что было в 3.5 раза выше, чем в фоновой почве (разрез Б-342). В почве залежного участка численность сапротрофов составляла 2.46 млн. кл./г почвы. Во всех изученных почвах, кроме почвы выпасного участка, профильные различия численности сапротрофных бактерий были недостоверными, однако, в фоновой почве и почве залежного участка отмечалась тенденция к их увеличению в средней и нижней части профиля.

На основании полученных данных можно заключить, что антропогенная нагрузка, имевшая место в древности, привела к достоверному увеличению численности сапротрофных бактерий в почвах и культурных слоях, и эти изменения сохранились до наших дней. Что касается современных антропогенно-преобразованных почв, то увеличение в них численность сапротрофов, по сравнению с фоновыми, незагрязненными органическими материалами почвами, было показано ранее (Мишустин и др., 1979).

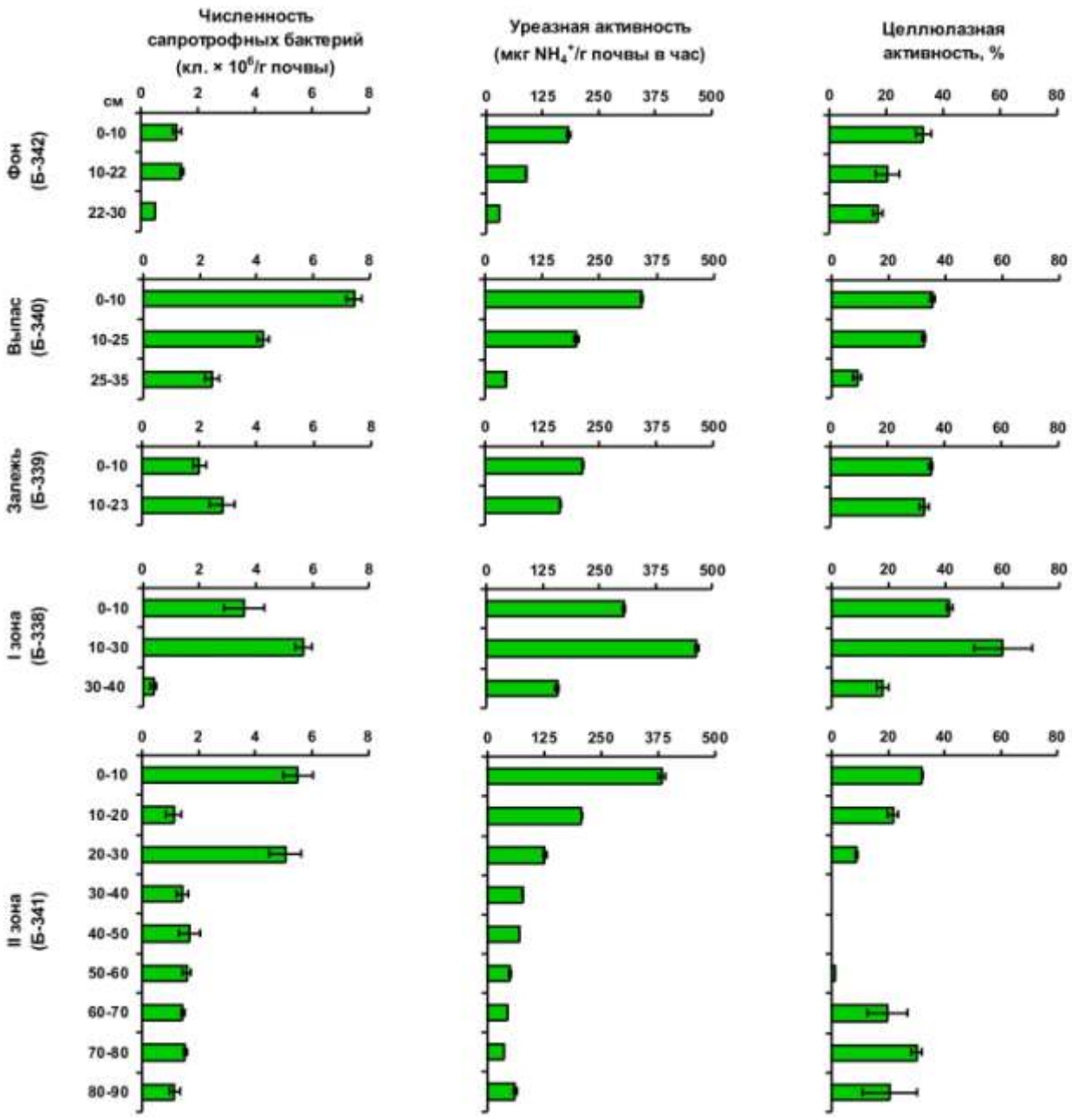

Рисунок 4.3 – Численность сапротрофных бактерий и ферментативная активность почв и культурных слоев ключевого участка Подкумское-2.

Численность термофильных бактерий. Термофильные бактерии – это специфическая группа микроорганизмов, которая попадает в почву в основном с навозом или компостами, богатыми этими микроорганизмами. В почвах они могут сохраняться в покоящемся состоянии. Обилие термофилов в почвах зависит в первую очередь от степени их сельскохозяйственного использования (Мишустин и др., 1979).

В изученных почвах термофильные микроорганизмы были выявлены лишь в почвах выпасного и залежного участков (таблица 4.3). Причем, если в почве выпасного участка термофилы выявлялись только в верхнем горизонте, и их численность не превышала показатели для незагрязненных почв (Методические указания…, 1976), то в почве залежного участка по всему профилю регистрировалась довольно высокая численность микроорганизмов этой группы. Максимальное обилие термофильных бактерий здесь наблюдалось в нижней части профиля на глубине 10–23 см, где их численность составляла 3.5 тыс. кл./г почвы. Повышение обилия термофилов на данном участке, по-видимому, связано с внесением навоза более 20 лет назад.

В культурных слоях первой и второй зоны освоения территории термофильные микроорганизмы не были выявлены. Отсутствие термофильных микроорганизмов в культурном слое зоны предположительного содержания скота обусловлено тем, что здесь не могли создаваться необходимые условия для образования термофилов, так как в значительных количествах они образуются только при созревании навоза и повышении температуры при этом до 50–65ºС.

Уреазная активность. На прилегающих к поселению участках максимальная уреазная активность была выявлена в современной почве выпаса, где в верхнем горизонте она составляла 343 мкг NH_4^+/г почвы в час, а в гор. АВ и АС ее значения уменьшались до 199 и 47 мкг NH_4^+/г почвы в час соответственно (рисунок 4.4, таблица 4.6). Заметное возрастание уреазной активности в почвах, используемых в качестве выгонов, ранее отмечалось и другими авторами (Мукатанов, 1979; O’Tool et al., 1985; Paz-Ferreiro et al., 2007). На залежном

участке уреазная активность была несколько меньше, вниз по профилю происходило ее уменьшение с 213 до 164 мкг NH_4^+/г почвы в час. В почве фонового участка были выявлены минимальные значения уреазной активности, и вниз по профилю здесь произошло более резкое ее уменьшение. Так, в гор. АВ уреазная активность составила 89 мкг NH_4^+/г почвы в час, что было вдвое меньше, чем в почвах залежи и выпаса.

Уреазная активность культурных слоев поселения, в целом, была больше, чем в современных дерново-карбонатных почвах, прилегающих к поселению (рисунок 4.3, таблица 4.6). В культурных слоях первой зоны (предполагаемой зоны содержания скота) она варьировала в пределах от 119 до 389 мкг NH_4^+/г почвы в час. В культурном слое разреза Б-338 на глубине 0–10 см уреазная активность не превышала 305 мкг NH_4^+/г почвы в час, однако в нижележащем слое ее значения достигали 466 мкг NH_4^+/г почвы в час. Аналогичный характер распределения уреазной активности наблюдался и в культурном слое из зондажа 10, здесь также вниз по профилю произошло ее увеличение с 119 до 255 мкг NH_4^+/г почвы.

Иной характер профильного распределения уреазной активности выявлен в культурном слое второй зоны освоения (предположительно, жилой зоны). Здесь в разрезе Б-341 в верхнем слое регистрировалась довольно высокая уреазная активность. Вниз по профилю произошло значительное ее уменьшение. На различных глубинах в толще культурного слоя второй зоны уреазная активность варьировала в пределах от 37 до 207 мкг NH_4^+/г почвы в час; в слое 80–90 см отмечалось значительное увеличение уреазной активности относительно вышележащего слоя. Максимальные значения уреазной активности в верхнем горизонте были выявлены в культурных слоях зондажей 9 и 7, где они достигали 389 и 377 мкг NH_4^+/г почвы в час соответственно. Примечательно то, что во всех изученных почвах поселения на глубине 10–20 (20–40) см уреазная активность превышала таковую фоновой почвы в верхнем горизонте.

В верхних горизонтах культурного слоя первой и второй зоны уреазная активность была довольно близка. Однако если во всех почвах первой зоны освоения в подповерхностных слоях наблюдались довольно 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).

Таблица 4.6 – Ферментативная активность почв и культурных слоев ключевого участка Подкумское-2

Разрез	Горизонт/глубина, см	Уреазная активность, мкг NH_4^+/г почвы в час	Целлюлазная активность, %
Б-342 (Фон)	0–10	183.0 ± 4.9	33.2 ± 2.7
	10–22	88.9 ± 1.5	20.5 ± 4.1
	22–30	30.1 ± 0.1	17.2 ± 1.8
Б-340 (Выпас)	0–10	342.6 ± 3.2	35.4 ± 0.8
	10–25	199.0 ± 5.2	32.4 ± 0.7
	23–35	46.6 ± 1.5	9.0 ± 1.6
Б-339 (Залежь)	0–10	213.3 ± 1.2	35.3 ± 0.5
	10–23	164.1 ± 0.3	32.8 ± 1.8
Б-338 (I зона)	0–10	304.6 ± 3.7	41.5 ± 1.0
	10–30	465.9 ± 5.0	60.3 ± 10.3
	30–40	156.1 ± 3.6	18.0 ± 2.3
Б-341 (II зона)	0–10	383.1 ± 7.1	32.2 ± 0.2
	10–20	207.3 ± 1.6	21.7 ± 2.0
	20–30	126.2 ± 3.4	9.0 ± 0.4
	30–40	77.5 ± 1.4	–
	40–50	70.8 ± 1.1	–
	50–60	50.2 ± 2.7	1.3 ± 0.0
	60–70	45.2 ± 0.2	19.9 ± 7.1
	70–80	37.2 ± 0.4	30.1 ± 1.9
	80–90	61.1 ± 3.9	20.7 ± 9.6

Целлюлазная активность. Целлюлазная активность во всех изученных почвах в верхнем горизонте регистрировалась на уровне 30–40% (рисунок 4.3, таблица 4.6). В современных почвах вблизи поселения происходило незначительное уменьшение целлюлазной активности вниз по профилю.

Исключение составила лишь фоновая почва, где этот показатель существенно уменьшился с 33% в гор. А1 до 21% в гор. АС. Также значительное уменьшение целлюлазной активности относительно верхних горизонтов наблюдалось в гор. АС почвы выпаса.

В культурных слоях поселения наблюдалась другая картина распределения целлюлазной активности. В почве первой зоны освоения территории (разрез Б-338), которая предположительно использовалась для содержания скота, были выявлены максимальные значения целлюлазной активности. Здесь в слое 10–30 см она достигала 60%. В почве второй зоны освоения, вероятно, жилой зоны (разрез Б-341), уровень целлюлазной активности в верхнем горизонте был сравним с современными почвами вблизи поселения. На глубине 30–60 см она либо не регистрировалась, либо регистрировалась на очень низком уровне. Глубже 60 см происходило увеличение целлюлазной активности, причем в слое 70–80 см ее значения были на уровне значений верхнего горизонта, что говорит о значительном поступлении целлюлозы в период формирования этой части культурного слоя.

Таким образом, антропогенная нагрузка, связанная с проживанием населения и содержанием скота, приводит к увеличению ферментативной активности почв. Различия в ферментативной активности культурных слоев первой и второй зоны поселения могут указывать на различное назначение этих зон.

Экофизиологические коэффициенты. Экофизиологические коэффициенты рассчитываются на основе ряда физиологических характеристик микроорганизмов, таких как дыхание, потребление углерода, рост/смерть и др. (Anderson, Domsch, 1986; Anderson, 1994). К основным экофизиологическим коэффициентам относятся qCO_2 и $C_{мик}/C_{орг}$. Метаболический коэффициент qCO_2 является важным индикатором состояния микробного сообщества почвы, и представляет собой отношение скорости базального дыхания микроорганизмов к содержанию активной микробной биомассе в почве (Anderson, Domsch, 1990). Отношение $C_{мик}/C_{орг}$ также является чувствительным индикатором, указывающим

на изменение доступности микроорганизмам питательных веществ. Это соотношение применяют в качестве индикатора устойчивости для быстрого распознавания изменений окружающей среды (Anderson, Domsch, 1986, 1989).

Для всех почв и культурных слоев характерно низкие значения соотношения $C_{мик}/C_{орг}$ (рисунок 4.4), что указывает на невысокую доступность для микроорганизмов источников углерода (Anderson, 2003). Относительное повышение этого коэффициента отмечалось в фоновой почве, однако здесь наблюдались и высокие значения метаболического коэффициента qCO_2. Высокие значения этого коэффициента и невысокое соотношение $C_{мик}/C_{орг}$ указывает на то, что микробное сообщество находится в стрессовых условиях. Высокие значения метаболического коэффициента в контрольных почвах отмечались и ранее другими авторами, что, по их мнению, было связано с недостатком питательных веществ (Bohme et al., 2005). В этой же работе было показано, что на опытных площадках с длительным внесением навоза, значения qCO_2 были минимальными. Уменьшение метаболического коэффициента при внесении навоза было отмечено и другими авторами (Kandeler, Eder, 1993; Giacometti et al., 2013). В наших исследованиях аналогичная ситуация наблюдалась в культурном слое второй зоны освоения территории. В современных почвах в окрестностях поселения (выпас, залежь) на фоне низкого соотношения $C_{мик}/C_{орг}$, в особенности в почве залежного участка, значения qCO_2 были невысокими. В культурных слоях первой зоны освоения метаболический коэффициент, в целом, соответствует оптимальным условиям (таблица 4.4). Значительное увеличение этого коэффициента наблюдалось лишь в культурном слое одной из построек (зондаж 5). Повышение метаболического коэффициента наблюдается в том случае, когда при инициировании микробного сообщества глюкозой не происходит существенного возрастания скорости субстрат-индуцированного дыхания относительно базального, что может говорить о том, что микробное сообщество полностью обеспечено легкодоступными источниками углерода, либо о других его потребностях (Демкина и др., 2000).

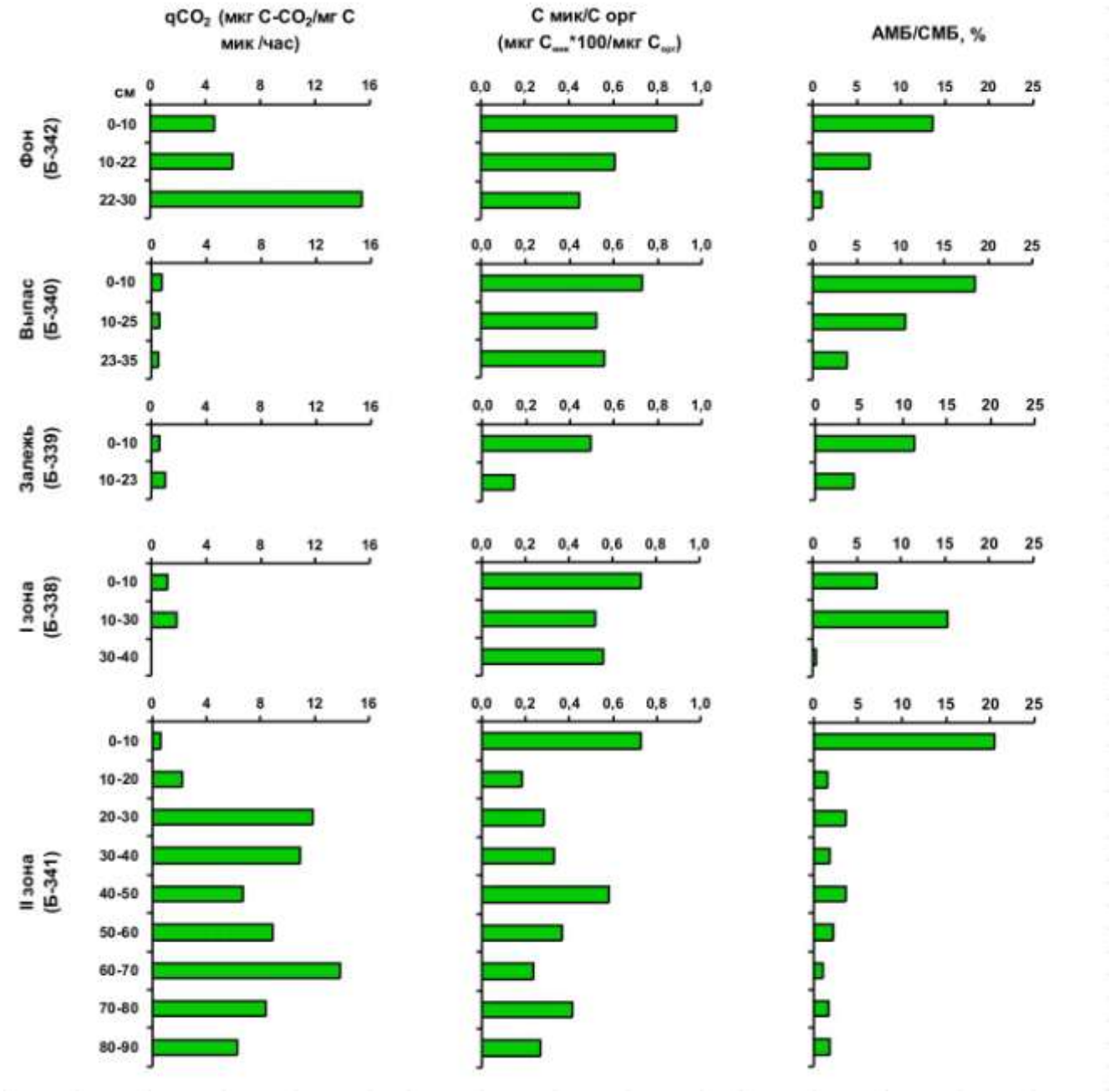

Рисунок 4.4 – Экофизиологические коэффициенты почв и культурных слоев ключевого участка Подкумское-2.

4.1.3 Корреляционный анализ

В современных дерново-карбонатных почвах в окрестностях поселения Подкумское-2 активная микробная биомасса и уреазная активность тесно коррелировали с влажностью, содержанием $C_{орг}$, $CaCO_3$, pH и содержанием подвижных минеральных форм азота (таблица 4.7). Причем, в целом, наблюдалась прямая взаимосвязь между этими показателями. В фоновой почве также выявлена значимая обратная корреляция между суммарной микробной биомассой и минеральными формами азота. Целлюлазная активность в почве на данном участке коррелировала с $CaCO_3$, pH (обратная взаимосвязь) и содержанием минеральных форм азота (прямая взаимосвязь). В почве выпасного участка все химические показатели коррелировали не только с АМБ и уреазной активностью, но и с численность сапротрофных бактерий. Также здесь была выявлена тесная прямая взаимосвязь между суммарной биомассой грибного мицелия и pH; целлюлазная активность коррелировала с pH, содержанием карбонатов, $N\text{-}NO_3^-$ и $N\text{-}NH_4^+{}_{обм}$. С увеличением антропогенной нагрузки произошло нарушение взаимосвязи между химическими свойствами и показателями биологической активности. Так, в почве залежного участка не было выявлено никакой зависимости биологических показателей от влажности и pH почвы. В культурных слоях поселения наблюдалось еще большее нарушение зависимости биологических показателей от химических свойств. В культурном слое первой зоны освоения на АМБ влияла только влажность, на СМБ – содержание карбонатов. СБГМ отрицательно коррелировала с $CaCO_3$ и pH, и положительно с нитратным азотом. Также здесь обнаружена тесная взаимосвязь между численностью сапротрофов, уреазной и целлюлазной активностью с влажностью и содержанием $N\text{-}NH_4^+{}_{обм}$. Кроме того, в первой зоне освоения выявлена обратная корреляция между сапротрофными бактерии и уреазной активностью с содержанием карбонатов. Численность сапротрофных бактерий также коррелировали с pH. В культурном слое второй зоны освоения выявлена наименьшая зависимость показателей биологической активности от химических

свойств почв. Так, АМБ и уреазная активность здесь коррелировали только с влажностью, содержанием $C_{орг}$ и минеральных форм азота; численность сапротрофов – с содержанием $C_{орг}$; целлюлазная активность – с содержанием азота обменного аммония.

Таблица 4.7. – Коэффициенты корреляции между химическими свойствами и параметрами биологической активности на ключевом участке Подкумское-2

Показатель	СМБ	АМБ	СБГМ	Сапротрофы	Уреаза	Целлюлаза
			Фон			
Влажность	-0.77	**0.93**	0.12	0.63	**0.94**	0.68
$C_{орг}$	-0.75	**0.98**	0.01	0.74	**0.99**	0.77
CaCO3	0.72	**-0.98**	0.01	-0.75	**-0.99**	**-0.82**
pH	0.70	**-0.99**	0.03	-0.76	**-0.99**	**-0.80**
$N\text{-}NO_3^-$	**-0.82**	**0.93**	-0.17	0.79	**0.94**	**0.88**
$N\text{-}NH_4^+{}_{обм}$	**-0.89**	**0.86**	-0.13	0.70	**0.87**	**0.82**
			Выпас			
Влажность	0.21	**0.97**	-0.60	**0.96**	**0.91**	0.65
$C_{орг}$	0.06	**0.95**	-0.76	**0.98**	**1.00**	**0.88**
CaCO3	-0.13	**-0.97**	0.70	**-0.99**	**-0.98**	**-0.80**
pH	0.07	**-0.84**	**0.83**	**-0.91**	**-0.97**	**-0.98**
$N\text{-}NO_3^-$	0.35	**0.98**	-0.49	**0.93**	**0.89**	0.63
$N\text{-}NH_4^+{}_{обм}$	0.38	**0.98**	-0.47	**0.91**	**0.89**	0.65
			Залежь			
Влажность	0.60	0.09	0.37	-0.14	-0.05	0.28
$C_{орг}$	0.57	**0.83**	0.43	**-0.80**	**0.90**	**0.85**
CaCO3	-0.51	**-0.96**	-0.65	**0.81**	**-1.00**	**-0.90**
pH	0.49	-0.65	-0.17	0.56	-0.75	-0.63
$N\text{-}NO_3^-$	0.54	**0.99**	0.73	**-0.86**	**1.00**	**0.94**
$N\text{-}NH_4^+{}_{обм}$	0.60	**0.98**	0.75	**-0.87**	**0.98**	**0.96**
			Первая зона освоения			
Влажность	-0.75	**0.97**	0.68	**0.97**	**1.00**	**0.88**
$C_{орг}$	-0.27	-0.18	0.49	0.11	-0.03	0.06
CaCO3	**0.84**	-0.72	**-0.84**	**-0.88**	**-0.83**	-0.79
pH	0.76	-0.62	**-0.89**	**-0.83**	-0.73	-0.69
$N\text{-}NO_3^-$	-0.64	0.39	**0.85**	0.64	0.57	0.66
$N\text{-}NH_4^+{}_{обм}$	-0.68	0.90	0.68	**0.91**	**0.98**	**0.95**
			Вторая зона освоения			
Влажность	0.10	**0.70**	0.47	0.57	**0.79**	0.01
$C_{орг}$	0.02	**0.88**	0.24	**0.69**	**1.00**	0.55
CaCO3	-0.16	-0.46	-0.28	0.04	-0.41	0.07
pH	-0.56	-0.32	0.24	-0.32	-0.58	-0.21
$N\text{-}NO_3^-$	-0.09	**0.97**	0.31	0.66	**0.90**	0.62
$N\text{-}NH_4^+{}_{обм}$	0.15	**0.88**	0.32	0.64	**0.95**	**0.68**

Жирным шрифтом выделены коэффициенты значимые при P 0.05

Кроме того, проведен корреляционный анализ между различными показателями биологической активности (таблица 4.8). В фоновой почве была выявлена тесная взаимосвязь АМБ с численность сапротрофов, уреазной и целлюлазной активностью; также уреазная активность коррелировала с целлюлазной активностью. В почве выпасного участка выявлена тесная взаимосвязь между АМБ, численностью сапротрофов и уреазной активностью. Кроме того, в почве на данном участке была выявлена тесная корреляция между целлюлазной, уреазной активностью и численностью сапротрофов. В почве залежного участка отмечена обратная взаимосвязь АМБ, уреазной, целлюлазной активностью с численностью сапротрофных бактерий. Также между собой коррелировали показатели АМБ, уреазной и целлюлазной активности. В культурном слое первой зоны освоения выявлена тесная корреляция между АМБ, численностью сапротрофов и уреазной активностью. Сапротрофные бактерии здесь также отрицательно коррелировали с СМБ и положительно с целлюлазной активностью. Кроме того, в культурном слое первой зоны выявлена взаимосвязь между уреазной и целлюлазной активностью. В культурном слое второй зоны отмечалась значимая корреляционная связь только между показателями АМБ, численностью сапротрофов и уреазной активностью.

Наличие тесной корреляционной связи между уреазной активностью и АМБ практически во всех изученных почвах указывает на наличие уреазы, связанной с живыми почвенными микроорганизмами (Paulson, Kurtz, 1970; Bierderbeck et al., 1984; Schnurer et al., 1985).

Таким образом, антропогенная нагрузка приводит к нарушению взаимосвязи между показателями биологической активности и химическими свойствами почв. Наибольшие нарушение корреляционной связи произошло в результате селитебного воздействия, имевшие место около 1600–1800 лет назад.

Таблица 4.8. – Коэффициенты корреляции между изученными параметрами биологической активности на ключевом участке Подкумское-2

Показатель	АМБ	СБГМ	Сапротрофы	Уреаза	Целлюлаза
			Фон		
СМБ	-0.62	-0.21	-0.60	-0.66	-0.44
АМБ		-0.13	**0.80**	**1.00**	**0.84**
СБГМ			-0.44	-0.09	-0.47
Сапротрофы				**0.80**	0.72
Уреаза					**0.82**
			Выпас		
СМБ	0.30	0.57	0.11	0.04	-0.09
АМБ		-0.54	**0.94**	**0.94**	0.74
СБГМ			-0.73	-0.77	-0.79
Сапротрофы				**0.97**	**0.81**
Уреаза					**0.90**
			Залежь		
СМБ	0.52	0.65	-0.35	0.49	0.62
АМБ		0.76	**-0.86**	**0.98**	**0.95**
СБГМ			-0.49	0.67	0.70
Сапротрофы				**-0.85**	**-0.94**
Уреаза					**0.92**
			Первая зона освоения		
СМБ	-0.75	-0.47	**-0.83**	-0.77	-0.60
АМБ		0.54	**0.94**	**0.96**	0.74
СБГМ			0.76	0.70	0.79
Сапротрофы				**0.97**	**0.83**
Уреаза					**0.90**
			Вторая зона освоения		
СМБ	-0.18	-0.42	-0.38	0.20	0.29
АМБ		0.34	**0.73**	**0.90**	0.50
СБГМ			0.38	0.27	-0.24
Сапротрофы				0.69	0.29
Уреаза					0.59

Жирным шрифтом выделены коэффициенты значимые при Р 0.05

4.1.4 Заключение по ключевому участку Подкумское-2

Биологическая активность почв и культурных слоев подверглась существенной трансформации в результате антропогенного воздействия. Наиболее значительные изменения были выявлены в отношении ферментативной активности. Так, уреазная и целлюлазная активность культурных слоев была вдвое выше, чем в фоновой почве. Причем антропогенная нагрузка привела и к профильному изменению данного показателя. Ферментативная активность в культурных слоях первой и второй зоны также существенно различалась. Различия в ферментативной активности культурных слоев первой и второй зоны поселения могут указывать на различное назначение этих зон. Высокий уровень уреазной и целлюлазной активности в почвах первой зоны освоения, скорее всего, связан с использованием построек в качестве загонов для скота. Эту часть территории поселения, таким образом, можно называть производственной. Вторая зона освоения, по всей видимости, связана с проживанием населения, на это указывает как мощный культурный слой, так и наличие глубоких хозяйственных ям.

Кроме того, в культурных слоях поселения было выявлено уменьшение активной микробной биомассы, при этом значения этого показателя варьировали в зависимости от характера использования территории. Так, в культурных слоях производственной зоны активная микробная биомасса, как правило, была в 1.5 раза выше, чем в культурном слое жилой зоны. Причем в культурных слоях в местах содержания скота этот показатель был на уровне фоновой почвы. В окрестностях поселения уменьшение АМБ наблюдалось только в почве залежного участка.

Антропогенная нагрузка также привела к увеличению численности сапротрофных бактерий. Существенное ее возрастание, относительно фоновой почвы, наблюдалось в почве выпасного участка, а также в культурных слоях, как жилой, так и производственной зоны поселения. Таким образом, этот показатель можно считать одним из маркеров селитебного освоения территории.

Что касается биомассы микроскопических грибов, то ее уменьшение отмечено только в почве залежного участка, что является следствием распашки почвы. В культурных слоях поселения, современных антропогенно-преобразованных почвах и фоновой почве различия в биомассе грибного мицелия были незначительными.

Суммарная биомасса микроорганизмов также существенно уменьшилась в результате антропогенной нагрузки. Так, в антропогенно-преобразованных почвах и культурных слоях СМБ была в 1.6–2.5 раза ниже, чем в фоновой почве.

Таким образом, селитебное освоение территории в древности, так же, как и современные формы антропогенного воздействия на почвы, вызывают существенные изменения химических свойств почв и биологической активности. При этом, если селитебная нагрузка вызывает резкие изменения морфологических параметров, химических свойств и биологической активности, то сельскохозяйственное освоение в первую очередь отражается на микробиологических показателях; в меньшей мере – на уровне химических свойств, и практически не отражается на морфологических свойствах антропогенно-преобразованных почв.

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

4.2 Ключевой участок Подкумское-3

4.2.1 Химические свойства почв

Поселение Подкумское-3 (V–VIII вв. н.э.) расположено на мысовой части склона северо-западной экспозиции. При движении от поселения к юго-западу расположена обширная территория, потенциально пригодная для земледелия, с уклоном около 3–5º. Для изучения свойств почв была заложена серия разрезов по трансекте в направлении поселение-водораздел. Разрезы были удалены на следующие расстояния от поселения: 60, 120, 250, 600, 1200, 2300 и 2600 м (разрезы Б-345, Б-344, Б-346, Б-350, Б-353, Б-352 и Б-351 соответственно). Морфологические свойства почв описаны в главе 3 (стр. 48–52).

Разрезы Б-345 и Б-344, расположенные в зоне наиболее мощного антропогенного воздействия в V–VIII вв., характеризуются схожим строением почвенного профиля. Здесь, в непосредственной близости от поселения развиты маломощные, эродированные почвы, более насыщенные керамикой аланского времени, которая сосредоточена преимущественно в слое 0–20 см (рисунок 4.5). Анализ распределения керамики в почвах часто используется в археологии для установления границ древних земледельческих полей (Wilkinson, 1982).

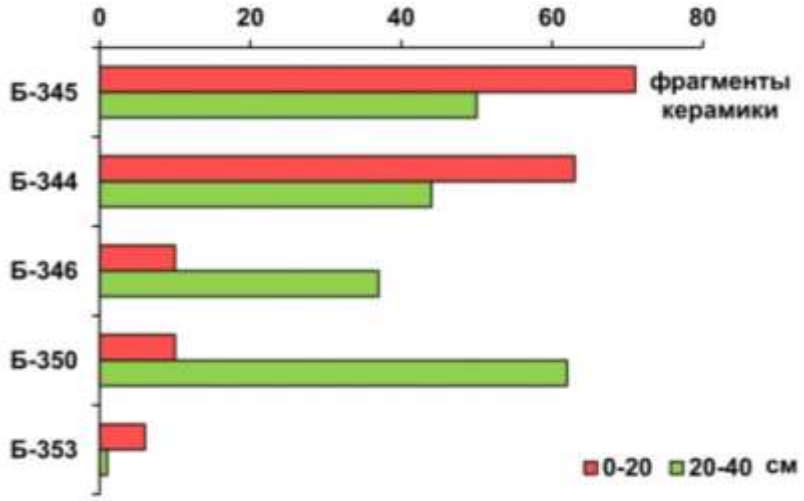

Рисунок 4.5 – Распределение фрагментов керамики в почвах ключевого участка Подкумское-3.

В разрезе Б-346 керамики встречается существенно меньше, чем в предыдущих разрезах, основная ее масса сосредоточена в слое 20–40 см. Аналогичная ситуация отмечена в разрезе Б-350, расположенном у подножья склона, в зоне заведомого активного сельскохозяйственного использования на участке с уклоном 2–3º.

Разрез Б-353 был заложен в периферийной аграрной зоне без внесения удобрений, либо с нерегулярным удобрением, на что указывает незначительное количество керамики, обнаруженной в разрезе.

Разрезы Б-352 и Б-351 располагались на максимальном удалении от поселения в зоне, где заведомо не практиковалось земледелие. Почвы этих участков могут рассматриваться как фоновые.

При движении по трансекте по линии поселение–водораздел, наблюдалось существенное изменение химических свойств почв (таблица 4.9). Так, влажность верхнего горизонта/слоя уменьшалась от 9% в ближайшей к поселению почве до 5% в фоновых почвах водораздела. Причем в разрезе Б-346 и Б-350 максимальная влажность была в слое 10–20 см, а в разрезе Б-353 – в слое 20–30 см. Содержание $C_{орг}$ уменьшалось от 9 до 4% по трансекте, и во всех изученных почвах происходило постепенное его уменьшение вниз по профилю. Увеличение содержания $C_{орг}$ в почвах бывших земледельческих угодий могло быть вызвано длительным внесением органических удобрений. Этот факт отмечен в ряде работ (Шапошникова, Новиков, 1986; Haynes, Naidu, 1998; Edmeades, 2003; Lehmann et al., 2003; McLauchlan, 2006; Homburg, Sandor, 2011). Известно, что повышенный уровень содержания $C_{орг}$ может сохраняться в почвах длительное время (500–1000 лет) после прекращения внесения органических удобрений (Sandor, Eash, 1995; Springob, Kirchmann, 2002).

Содержание $CaCO_3$ было максимальным в ближайшей к поселению почве, где в слое 20–33 см оно достигало 22%. В данном случае карбонаты имеют антропогенную природу; повышение содержания карбонатов показано для культурных слоев поселений (Александровский, 1997; Александровский и др.,

1997; Долгих, 2010; Герасимова и др. 2003; Естественно-научные…, 2004; Каздым, 2010).

При движении по трансекте в сторону водораздела происходило уменьшение содержания карбонатов в почвах. Реакция среды по мере удаления от поселения изменялась от слабо щелочной до слабо кислой.

Таблица 4.9 – Химические свойства и гранулометрический состав почв ключевого участка Подкумское-3

Разрез	Глубина/горизонт, см	Влажность	$C_{орг}$	$CaCO_3$	$pH_{вод}$	Содержание частиц, %	
		%				<0.01	<0.001
Б-345	0–20	9.4	8.8	9.0	7.6	13	3
(60 м)	20–33	5.0	5.5	22.4	7.9	18	3
Б-344	0–20	7.9	8.4	6.7	7.0	21	5
(120 м)	20–27	6.4	5.7	7.6	7.1	17	5
Б-346	0–10	6.7	6.1	5.4	6.7	23	7
(250 м)	10–20	9.2	5.1	4.0	6.6	22	8
	20–30	5.8	3.9	4.5	7.3	29	12
	30–40	7.0	3.3	3.6	6.7	37	17
Б-350	0–10	5.8	6.3	4.5	6.9	16	9
(600 м)	10–20	7.7	5.3	3.6	7.1	25	11
	20–30	5.7	3.6	3.6	6.9	24	15
	30–38	5.7	3.2	4.0	7.5	28	11
Б-353	0–10	3.9	3.6	2.2	6.3	16	7
(1200 м)	10–20	3.1	3.2	3.1	6.5	16	6
	20–30	4.6	1.8	3.1	6.7	33	9
	30–40	2.4	1.4	2.2	6.5	37	9
	40–50	2.6	1.0	2.2	6.2	32	15
	50–60	2.1	0.9	2.2	6.4	39	15
Б-352	0–10	5.2	4.5	2.2	6.2	18	8
(2300 м)	10–20	4.4	4.0	2.2	6.1	21	6
	20–30	4.9	2.1	2.2	6.5	29	12
	30–40	2.9	2.0	2.2	6.3	33	18
	40–50	3.5	1.9	2.2	6.7	29	17
Б-351	0–10	5.2	3.9	2.2	5.4	15	6
(2600 м)	10–20	5.4	3.6	2.2	5.4	20	6
	20–30	3.9	2.0	2.2	5.3	26	11
	30–40	4.4	1.5	1.8	5.7	26	11
	40–50	4.6	1.0	2.2	5.9	32	14

Гранулометрический состав в различных горизонтах почв изменялся от супесчаного до среднесуглинистого. Наиболее легкой по гранулометрическому составу была ближайшая к поселению почва. В данном случае облегчение гранулометрического состава также может рассматриваться как результат интенсивного антропогенного воздействия, при котором происходит относительное уменьшение тонкодисперсной фракции в результате увеличения поступления грубодисперсного материала при формировании урбиковых горизонтов (Прокофьева и др., 2001; Соколова и др., 2005; Чижикова, 1991).

Содержание $N\text{-}NO_3^-$ в почве удаленной на 60 м от поселения уменьшалось от 4.78 мг N /100 г до 0.67–0.50 мг N /100 г в почвах водораздела (таблица 4.10). Минимальными значениями характеризовалась почва, удаленная на 1200 м от поселения. Причем здесь наблюдались и минимальные значения содержания $C_{орг}$ и влажности.

Содержание $N\text{-}NH_4^+{}_{обм}$, напротив, увеличивалось по трансекте от 0.97 до 2.30 мг N /100 г. Кроме того, если в почвах ближайших к поселению (разрезы Б-345, Б-344, Б-346 и Б-350) нитратная форма азота преобладала над аммонийной, то в почвах максимально удаленных от него (разрезы Б-353, Б-352 и Б-351) наблюдалась противоположная тенденция. По литературным данным известно, что в природных экосистемах, особенно находящихся на последних стадиях сукцессии, аммонийная форма азота в почвах преобладает над нитратной, тогда в почвах агроэкосистем преобладает нитратная форма (Умаров и др., 2007). Также, показано, что нитратная форма азота преимущественно накапливается в культивируемых почвах (Кудеяров, 1989). Следует подчеркнуть также, что определение содержания минеральных форм азота (обменного аммония и нитратов) в образцах в данной работе мы рассматриваем не только с позиций одного из значимых показателей химических свойств почв, но и как дополнительный (химический) метод определения биологической активности почв (Практикум по биологии почв, 2002). Минеральные формы азота образуются в почвах, главным образом, в результате микробиологической трансформации азотсодержащих органических соединений, включающей процессы

аммонификации (образование и накопление аммонийного азота) и нитрификации (образование и накопление нитратного азота) (Кудеяров, 1989; Звягинцев и др., 2005; Умаров и др., 2007). При наличии в почвах более предпочтительных условий для одного или для другого из этих процессов преимущественно будет накапливается либо аммонийная, либо нитратная форма азота.

Таблица 4.10 – Содержание подвижных форм азота и P_2O_5 в почвах ключевого участка Подкумское-3

Разрез	Горизонт/глубина, см	$N\text{-}NO_3^-$	$N\text{-}NH_4^+{}_{обм}$	P_2O_5	
		мг/100 г почвы		Подвижные фосфаты, мг/100 г почвы	Валовый фосфор, %
Б-345 (60 м)	0–20	4.78	0.97	5.31	н.д.
	20–33	2.77	0.65	3.12	н.д.
Б-344 (120 м)	0–20	4.21	0.84	5.84	0.51
	20–27	2.34	0.91	3.19	0.42
Б-346 (250 м)	0–10	3.93	0.88	2.62	0.28
	10–20	2.12	0.82	2.21	0.28
	20–30	0.50	0.46	2.19	0.21
	30–40	0.27	0.36	1.92	0.18
Б-350 (600 м)	0–10	2.81	1.60	2.01	н.д.
	10–20	1.73	1.26	2.20	н.д.
	20–30	0.40	0.61	1.98	н.д.
	30–38	0.11	0.52	1.34	н.д.
Б-353 (1200 м)	0–10	0.87	1.28	3.34	н.д.
	10–20	0.41	1.02	2.07	н.д.
	20–30	0.30	0.94	1.92	н.д.
	30–40	сл.	0.43	1.24	н.д.
	40–50	сл.	0.33	1.12	н.д.
	50–60	сл.	0.30	1.14	н.д.
Б-352 (2300 м)	0–10	0.67	2.30	3.32	0.20
	10–20	0.76	0.81	4.71	0.18
	20–30	0.57	0.71	3.25	0.14
	30–40	сл.	0.52	2.73	0.13
	40–50	сл.	0.50	1.41	0.11
Б-351 (2600 м)	0–10	0.50	2.30	3.32	н.д.
	10–20	0.78	1.92	4.47	н.д.
	20–30	0.21	1.02	3.21	н.д.
	30–40	сл.	0.86	3.32	н.д.
	40–50	сл.	0.64	3.34	н.д.

н.д. – нет данных; сл. – следы

Содержание подвижных фосфатов в верхнем горизонте/слое уменьшалось от 5.31–5.89 мг/100 г в ближайших к поселению почвах до 2 мг/100 г в почве удаленной на 600 м от поселения (разрез Б-350), затем вновь происходило их увеличение до 3.34 мг/100 г, причем в почвах водораздела максимум их содержания наблюдался в слое 10–20 см, где содержание фосфатов достигало 4.71 мг/100 г почвы (таблица 4.10). Также было определено содержание валового фосфора в почвах, удаленных на 120, 250 и 2300 м от поселения (разрезы Б-344, Б-346 и Б-352 соответственно). Содержание валового фосфора в зоне заведомого антропогенного влияния в аланское время, было почти в 2.5 раза выше, чем в фоновой почве водораздела. Обогащение фосфором почв вблизи археологических памятников было показано еще в 30-х годах XX века в работах О. Аррениуса и В. Лорха (Arrhenius, 1931; Lorch, 1940 (цит. по: Holliday, Gartner, 2007)) и в настоящее время этот принцип широко используется в практике археологических изысканий (Eidt, 1977, 1984; Holliday, Gartner, 2007; Barda, 1994).

Таким образом, антропогенная нагрузка, связанная с сельскохозяйственным освоением с применением органических удобрений, привела к существенному изменению химических свойств почв. Так, в ближайших к поселению почвах, в зоне заведомого активного сельскохозяйственного использования, отмечался повышенный уровень содержания органического углерода, валового фосфора и накопление нитратного азота.

4.2.2 Биологическая активность почв

Суммарная микробная биомасса. Численность микроорганизмов в различных горизонтах изученных почв варьировала в пределах от 1.15 до 7.01×10^{11} кл./г почвы (таблица 4.11). На основе этого показателя была рассчитана суммарная микробная биомасса.

Между почвами, использовавшимися в сельскохозяйственной практике около 1500 лет назад, и фоновыми целинными почвами водораздела, не было выявлено существенных различий в СМБ, и различия по этому показателю между

горизонтами почв были, как правило, недостоверными (рисунок 4.6, таблица 4.11).

Тенденция к увеличению этого показателя наблюдалась в почве, удаленной на 1200 м от поселения, где СМБ составила 4358 мкг С/г почвы (средневзвешенная величина по профилю), а максимальные ее значения наблюдались на глубине 20–40 см. Уменьшение СМБ, относительно других почв бывших земледельческих угодий, наблюдалось в почвах, удаленных на 120 и 600 м от поселения, где средневзвешенная ее величина составляла 2730–2760 мкг С/г почвы. В почве, удаленной на 600 м от поселения, наблюдалась тенденция к увеличению этого показателя в средней части профиля, тогда как в почве, удаленной на 120 м, СМБ незначительно уменьшалась вниз по профилю. В почвах, удаленных на 60 и 250 м от поселения, СМБ составляла 3290 и 3412 мкг С/г почвы соответственно, причем вниз по профилю происходило незначительное ее увеличение. В фоновых почвах водораздела СМБ была на уровне 2630–2870 мкг С/г почвы, и здесь также наблюдалась тенденция к увеличению микробной биомассы в средней и нижней части профиля.

Таким образом, антропогенная нагрузка, имевшая место в V–VIII вв., не оказала заметного влияние на величину суммарной микробной биомассы. Относительная инертность этого показателя и его слабая чувствительность к различным воздействиям отмечалась ранее другими авторами (Звягинцев, 1987).

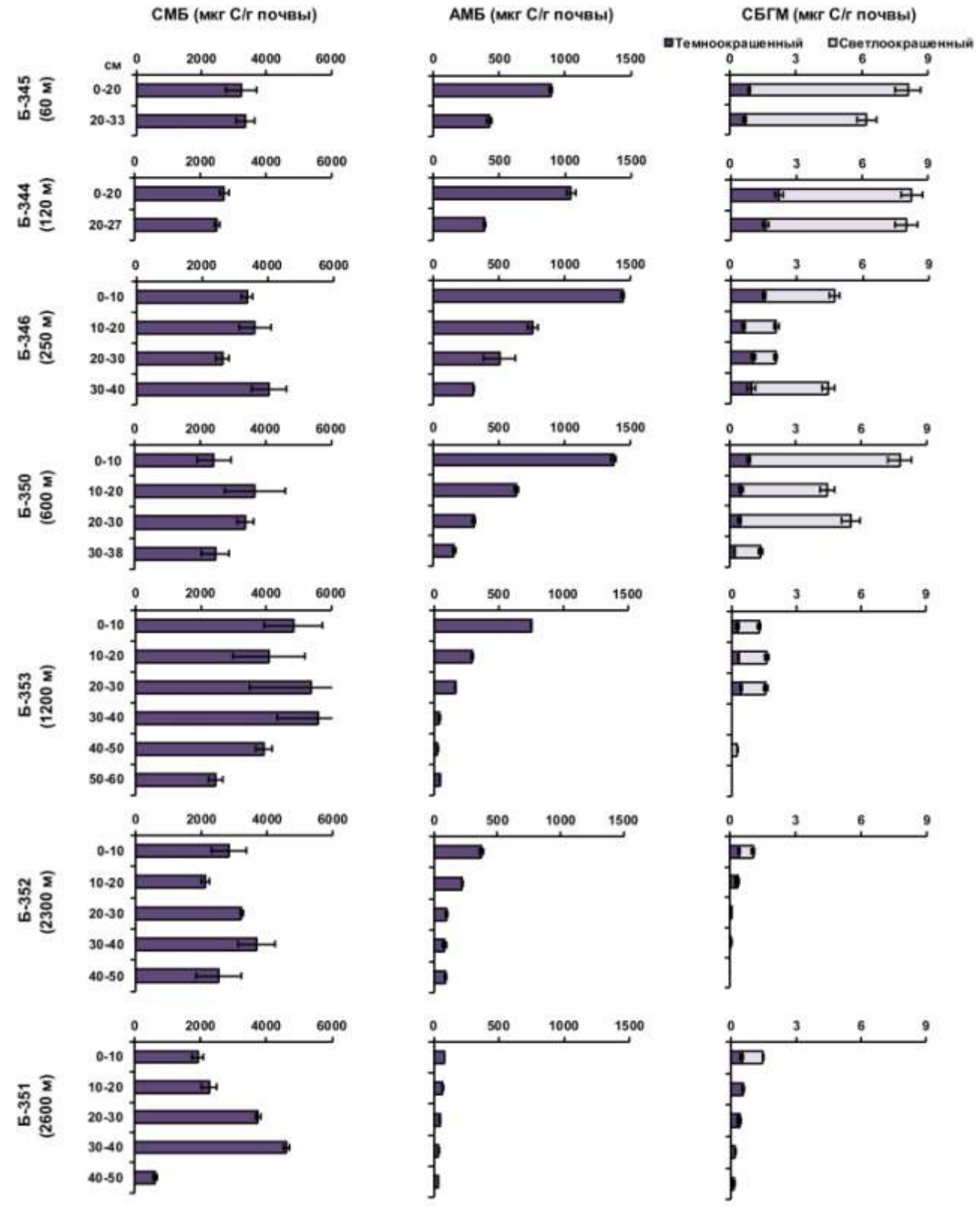

Рисунок 4.6 – Биомасса микроорганизмов в почвах ключевого участка Подкумское-3 (СМБ – суммарная биомасса микроорганизмов, АМБ – активная микробная биомасса, СБГМ – суммарная биомасса грибного мицелия).

Таблица 4.11 – Микробиологические параметры почв и культурных слоев ключевого участка Подкумское-3

Разрез	Горизонт/глубина, см	Суммарная микробная биомасса	Активная микробная биомасса	Численность микроорганизмов, кл.×10^{11}/г почвы	Численность сапротрофных бактерий, кл.×10^{6}/г почвы	Численность термофильных бактерий, кл.×10^{3}/г почвы
		мкг С/г почвы				
Б-345 (60 м)	0–20	3320 ± 476	893 ± 10	4.04 ± 0.69	2.04 ± 1.04	147.2 ± 16.1
	20–33	3344 ± 285	427 ± 19	4.18 ± 0.41	1.49 ± 0.18	115.5 ± 3.7
Б-344 (120 м)	0–20	2731 ± 138	1043 ± 35	3.41 ± 0.20	2.94 ± 0.31	87.5 ± 11.4
	20–27	2504 ± 79	388 ± 8	3.13 ± 0.11	1.68 ± 0.14	127.2 ± 13.5
Б-346 (250 м)	0–10	3371 ± 174	1444 ± 11	4.12 ± 0.25	2.80 ± 0.17	28.9 ± 2.2
	10–20	3612 ± 488	757 ± 39	4.52 ± 0.70	1.19 ± 0.21	5.5 ± 0.8
	20–30	2621 ± 197	505 ± 122	3.28 ± 0.28	0.63 ± 0.09	–
	30–40	4042 ± 534	306 ± 4	5.05 ± 0.77	0.36 ± 0.15	–
Б-350 (600 м)	0–10	2417 ± 524	1370 ± 22	3.02 ± 0.76	4.40 ± 0.01	18.0 ± 0.7
	10–20	3668 ± 927	634 ± 14	4.59 ± 1.34	3.51 ± 0.01	–
	20–30	3392 ± 249	312 ± 12	4.24 ± 0.36	0.16 ± 0.05	5.3 ± 0.7
	30–38	2457 ± 429	159 ± 11	3.07 ± 0.62	0.24 ± 0.03	4.2 ± 0.0
Б-353 (1200 м)	0–10	4835 ± 904	754 ± 3	6.04 ± 1.31	2.91 ± 0.30	9.4 ± 0.7
	10–20	4104 ± 1103	296 ± 6	5.13 ± 1.59	0.56 ± 0.10	–
	20–30	5384 ± 1882	165 ± 6	6.73 ± 2.72	0.85 ± 0.25	–
	30–40	5605 ± 1275	42 ± 6	7.01 ± 1.84	0.01 ± 0.01	–
	40–50	3937 ± 253	28 ± 5	4.92 ± 0.37	0.09 ± 0.04	–
	50–60	2444 ± 216	46 ± 6	3.05 ± 0.31	0.11 ± 0.03	–
Б-352 (2300 м)	0–10	2840 ± 524	376 ± 19	3.55 ± 0.76	0.99 ± 0.15	1.1 ± 0.7
	10–20	2114 ± 126	222 ± 4	5.41 ± 2.78	0.73 ± 0.11	1.0 ± 0.7
	20–30	3221 ± 55	100 ± 6	5.25 ± 0.20	–	–
	30–40	3664 ± 565	85 ± 14	4.58 ± 0.82	0.01 ± 0.01	–
	40–50	2528 ± 684	93 ± 7	3.16 ± 0.99	0.01 ± 0.01	–
Б-351 (2600 м)	0–10	1912 ± 171	83 ± 3	2.39 ± 0.30	0.01 ± 0.01	1.1 ± 0.7
	10–20	2257 ± 245	70 ± 2	2.82 ± 0.35	0.04 ± 0.02	–
	20–30	3745 ± 87	50 ± 5	3.63 ± 1.06	0.01 ± 0.01	–
	30–40	4617 ± 89	36 ± 4	4.28 ± 1.34	0.01 ± 0.01	–
	40–50	605 ± 66	35 ± 4	1.15 ± 0.40	–	–

Активная микробная биомасса. В отличие от суммарной микробной биомассы, биомасса микроорганизмов, дающих респираторный отклик на внесение глюкозы, была существенно выше в зоне заведомого активного сельскохозяйственного использования с внесением навоза в аланское время (разрезы Б-345, Б-344, Б-346 и Б-350) (рисунок 4.6, таблица 4.11). В ряде работ показано, что добавление органических удобрений приводит к увеличению микробной биомассы (Масютенко и др., 2008; McGill et al., 1985; Dick et al., 1992; Feng et al., 2003). На данном участке трансекты максимальные значения АМБ были выявлены в верхнем слое почв, удаленных на 250 и 600 м от поселения, где биомасса микроорганизмов, дающих респираторный отклик на внесение глюкозы, составила 1444 и 1370 мкг С/г почвы соответственно, в подповерхностных слоях этих почв АМБ уменьшалась с 757–634 мкг С/г почвы до 306–159 мкг С/г почвы. В ближайших к поселению почвах (разрезы Б-345 и Б-344) микробная биомасса была значительно меньше. Так, в почве, удаленной на 60 м от поселения, вниз по профилю АМБ изменялась от 893 до 427 мкг С/г почвы, а в почве, удаленной на 120 м – с 1043 до 388 мкг С/г почвы. В предполагаемой периферийной аграрной зоне с нерегулярным применением навоза, биомасса микроорганизмов, дающих респираторный отклик на внесение глюкозы, уменьшалась в два раза по сравнению с почвами, удаленными на 250 и 600 м от поселения. В фоновых почвах водораздела была выявлена минимальная АМБ, где ее значения уменьшались до 83–35 мкг С/г почвы в почве, удаленной на 2600 м от поселения (разрез Б-351).

Доля активной микробной биомассы от суммарной увеличивалась в верхнем горизонте/слое от 28% в ближайших к поселению почвах до 57% в почве, удаленной на 600 м, и во всех случаях наблюдалось значительное уменьшение этого показателя вниз по профилю. Далее по трансекте произошло резкое сокращение доли активной микробной биомассы до 16, 13 и 4% в почвах, удаленных на 1200, 2300 и 2600 м от поселения соответственно. Причем, во всех этих почвах в нижнем слое наблюдалось увеличение доли АМБ относительно

вышележащих слоев, а в почве, находящейся на максимальном удалении от поселения, в нижнем слое это отношение было несколько выше, чем в верхнем.

Таким образом, сельскохозяйственное освоение с длительным внесением навоза привело к достоверному увеличению биомассы микроорганизмов, дающих респираторный отклик на внесение глюкозы.

Суммарная биомасса грибного мицелия. На биомассу грибного мицелия древнее земледелие оказало более сложный и неоднозначный эффект. Установлено, что длина грибного мицелия в различных горизонтах изученных почв изменялась в пределах от 0.1 до 7.9 м/г почвы (таблица 4.12). На основе этого показателя была рассчитана суммарная биомасса грибного мицелия.

По мере удаления от поселения происходило существенное изменение содержания мицелия микроскопических грибов в почвах (рисунок 4.6, таблица 4.12). Наибольшей СБГМ характеризовались ближайшие к поселению почвы (разрезы Б-345 и Б-344), где ее средневзвешенные значения по профилю составили 7.02 и 8.19 мкг С/г почвы. Вниз по профилю содержание микроскопических грибов здесь уменьшалось незначительно. Далее по трансекте, в почве, удаленной на 250 м, произошло уменьшение СБГМ в 2.5 раза, и в профиле наблюдалось два максимума, в слое 0–10 см и 30–40 см, где биомасса микроскопических грибов была на уровне 4 мкг С/г почвы. В почве, удаленной на 600 м от поселения, вновь произошло увеличение содержания микроскопических грибов до 5.03 мкг С/г почвы, и здесь было отмечено возрастание СБГМ в слое 20–30 см. В зоне нерегулярного земледелия (разрез Б-353) биомасса микроскопических грибов сократилась до 0.78 мкг С/г почвы. Причем на глубине 10–30 см биомасса грибных гиф была выше, чем в верхнем слое; на глубине 30–40 и 50–60 см микроскопические грибы не были выявлены вовсе. В фоновых почвах водораздела была выявлена минимальная суммарная биомасса грибного мицелия, средневзвешенное ее значение составляло 0.32 и 0.55 мкг С/г в почвах, удаленных на 2300 и 2600 м соответственно. В работах разных авторов (Полянская и др., 1997; Лысак и др., 2004; Bardgett et al. 1996; Frey et al., 1999; Bittman et al., 2005)

показано существенное уменьшение биомассы микроскопических грибов при сельскохозяйственном освоении территории, вызванное, в первую очередь, физическим разрушением сети грибных гиф. Последующее забрасывание земледельческих полей приводит к увеличению биомассы грибного мицелия (Allison et al., 2005; van der Wal et al., 2006; de Vriers et al., 2007; Zarnoza et al., 2009). По-видимому, повышенные значения суммарной биомассы грибного мицелия в ближайших к поселению почвах бывших пахотных угодий связано с восстановлением комплекса микроскопических грибов после прекращения распашки.

В различных горизонтах почв бывших земледельческих угодий, как правило, в структуре грибного мицелия наблюдалось преобладание светлоокрашенных гиф. Максимальные значения этого показателя были выявлены в почве, удаленной на 600 м от поселения, где доля светлоокрашенного мицелия составила, в различных горизонтах, 86–92%. Значительное уменьшение доли светлоокрашенных гиф (до 49%) на данной территории наблюдалось только в слое 20–30 см почвы, удаленной на 250 м от поселения. В периферийной аграрной зоне (разрез Б-353), в структуре грибного мицелия также преобладали светлоокрашенные гифы, и их доля достигала 100% на глубине 40–50 см. В почвах водораздела была выявлена минимальная доля светлоокрашенного мицелия, так в почве, находящейся на максимальном удалении от поселения его доля не превышала 67%, причем на глубине 10–20 и 30–50 см весь мицелий был представлен темноокрашенными гифами.

Таким образом, после забрасывания пахотных угодий произошло увеличение суммарной биомассы грибного мицелия и увеличение доли светлоокрашенных гиф в его структуре, что было вызвано улучшением воздушно-физических свойств и увеличением содержания $C_{орг}$ в почвах.

Таблица 4.12 – Длина и биомасса грибного мицелия в почвах ключевого участка Подкумское-3

Разрез	Горизонт/глубина, см	Суммарная длина грибного мицелия, м/г почвы	Биомасса темноокрашенного мицелия	Биомасса светлоокрашенного мицелия	Суммарная биомасса грибного мицелия	Доля светлоокрашенного мицелия, %
			мкг С/г почвы			
Б-345 (60 м)	0–20	7.7 ± 0.4	0.86 ± 0.06	7.19 ± 0.58	8.08 ± 0.44	89.1
	20–33	5.9 ± 1.0	0.70 ± 0.07	5.51 ± 0.44	6.21 ± 1.06	88.7
Б-344 (120 м)	0–20	7.9 ± 0.3	2.21 ± 0.19	6.07 ± 0.49	8.28 ± 0.36	70.0
	20–27	7.6 ± 0.5	1.61 ± 0.13	6.40 ± 0.51	8.01 ± 0.51	79.9
Б-346 (250 м)	0–10	4.5 ± 0.2	1.54 ± 0.06	3.17 ± 0.25	4.71 ± 0.19	67.2
	10–20	2.0 ± 0.4	0.60 ± 0.05	1.47 ± 0.12	2.07 ± 0.41	71.0
	20–30	1.9 ± 0.2	1.04 ± 0.08	1.01 ± 0.08	2.04 ± 0.25	49.2
	30–40	4.2 ± 0.9	0.94 ± 0.18	3.51 ± 0.28	4.45 ± 0.96	78.8
Б-350 (600 м)	0–10	7.4 ± 0.7	0.86 ± 0.06	6.90 ± 0.55	7.76 ± 0.74	89.0
	10–20	4.2 ± 0.9	0.50 ± 0.08	3.95 ± 0.32	4.45 ± 0.95	88.8
	20–30	5.2 ± 1.0	0.45 ± 0.07	5.07 ± 0.41	5.51 ± 1.09	91.9
	30–38	1.3 ± 0.3	0.21 ± 0.03	1.20 ± 0.10	1.40 ± 0.32	85.5
Б-353 (1200 м)	0–10	1.2 ± 0.2	0.28 ± 0.07	0.98 ± 0.08	1.26 ± 0.20	75.5
	10–20	1.5 ± 0.3	0.31 ± 0.03	1.30 ± 0.10	1.61 ± 0.34	80.6
	20–30	1.5 ± 0.3	0.42 ± 0.03	1.14 ± 0.09	1.56 ± 0.31	73.1
	30–40	–	–	–	–	–
	40–50	0.2 ± 0.2	–	0.25 ± 0.02	0.25 ± 0.18	100.0
	50–60	–	–	–	–	–
Б-352 (2300 м)	0–10	1.0 ± 0.2	0.44 ± 0.05	0.62 ± 0.05	1.07 ± 0.17	58.3
	10–20	0.4 ± 0.1	0.29 ± 0.03	0.11 ± 0.01	0.41 ± 0.12	26.5
	20–30	–	–	0.08 ± 0.01	0.08 ± 0.04	100.0
	30–40	–	0.04 ± 0.04	–	0.04 ± 0.04	–
	40–50	–	–	–	–	–
Б-351 (2600 м)	0–10	1.4 ± 0.1	0.48 ± 0.07	0.99 ± 0.04	1.47 ± 0.12	67.0
	10–20	0.5 ± 0.0	0.57 ± 0.05	–	0.57 ± 0.05	–
	20–30	0.4 ± 0.1	0.31 ± 0.06	0.08 ± 0.06	0.39 ± 0.12	20.0
	30–40	0.2 ± 0.0	0.19 ± 0.03	–	0.19 ± 0.03	–
	40–50	0.1 ± 0.0	0.11 ± 0.05	–	0.11 ± 0.05	–

Численность сапротрофных бактерий. В санитарной микробиологии почв одним из основных показателей для оценки степени загрязнения окружающей среды является численность сапротрофных бактерий. Существенное возрастание этой группы микроорганизмов происходит при внесении в почву различных органических материалов (Мишустин и др., 1979; Лысак и др., 2000).

Максимальная численность сапротрофных бактерий в изученных нами почвах наблюдалась в зоне заведомого сельскохозяйственного использования в аланское время (рисунок 4.7, таблица 4.11). Здесь, на участке трансекты протяженностью 600 м, наблюдалось увеличение численности этой группы микроорганизмов в верхних горизонтах с 2.04 до 4.4 млн. кл./г почвы. В почвах ближайших к поселению (разрезы Б-345 и Б-344) вниз по профилю происходило существенное сокращение численности сапротрофов до 1.49–1.68 млн. кл./г почвы в слое 20–30 см. В почве, удаленной на 250 м от поселения, в подповерхностных слоях наблюдалось более выраженное уменьшение численности сапротрофных бактерий, где она равномерно сокращалась с 2.8 до 0.36 млн. кл./г почвы. В почве, удаленной на 600 м от поселения, была выявлена максимальная численность сапротрофов, причем в слое 10–20 см она была лишь незначительно ниже, чем в вышележащем слое. В нижележащих слоях численность сапротрофных бактерий уменьшалась до 0.16–0.24 млн. кл./г почвы, причем некоторое ее увеличение наблюдалось на глубине 30–38 см.

В почве зоны нерегулярного земледелия (разрез Б-353), численность сапротрофных бактерий в различных горизонтах изменялась в пределах от 0.01 до 2.91 млн. кл./г почвы, максимальные значения ее были выявлены в слое 0–10 см, минимальные – на глубине 30–40 см. По всему профилю наблюдалось несколько пиков возрастания численности на глубине 20–30 см и 50–60 см.

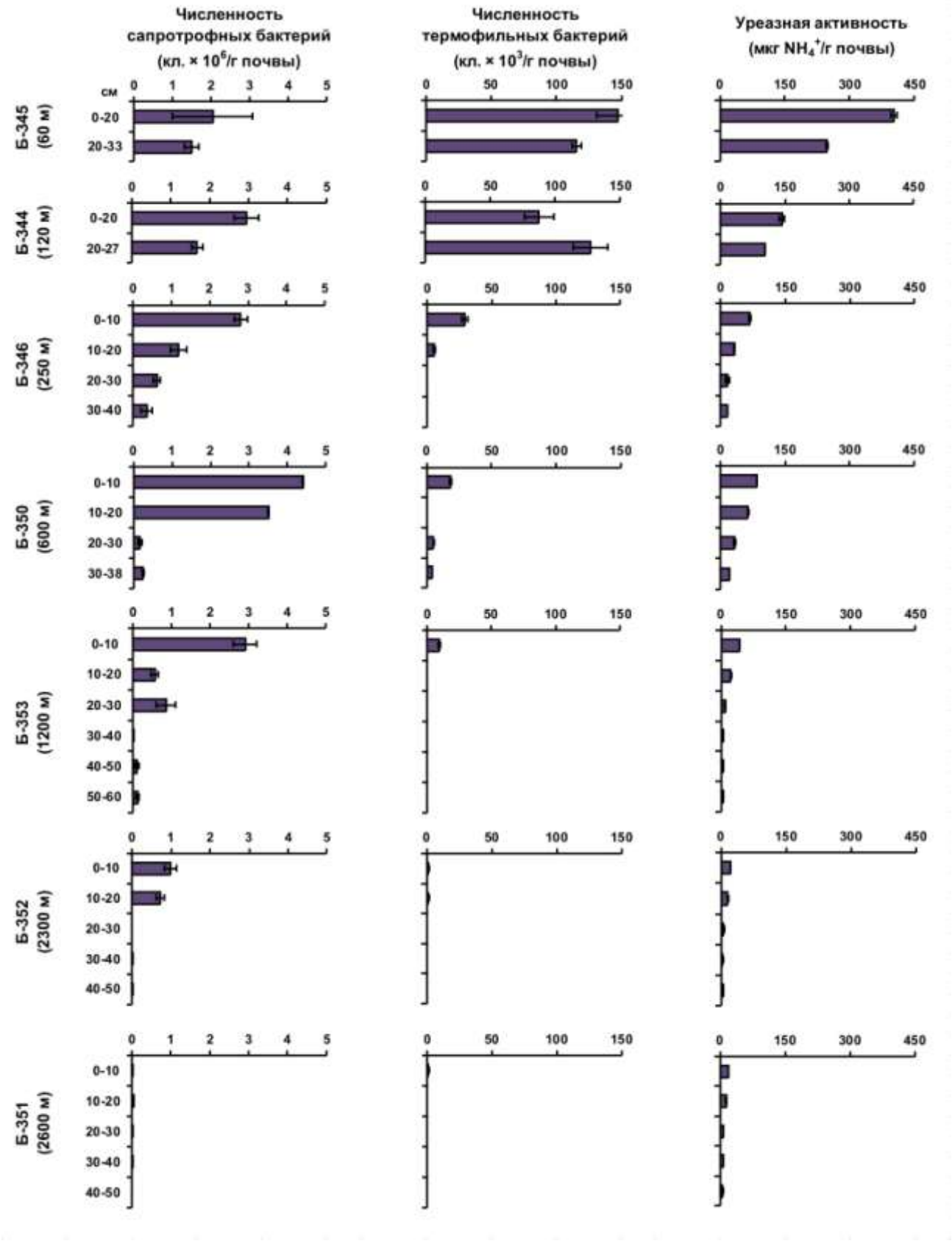

Рисунок 4.7 – Численность сапротрофных и термофильных микроорганизмов, уреазная активность почв ключевого участка Подкумское-3.

В фоновых почвах водораздела произошло существенное сокращение численности сапротрофных бактерий. В разрезе Б-352 их численность изменялась вниз по профилю от 0.99 до 0.01 млн. кл./г почвы, причем на глубине 20–30 см сапротрофные бактерии не были выявлены. В разрезе Б-351 численность сапротрофов не превышала 0.04 млн. кл./г почвы, и наивысшее значение было выявлено на глубине 10–20 см.

Таким образом, сельскохозяйственное освоение территории в аланского время с длительным применением навоза привело к существенному увеличению численности сапротрофных бактерий, повышенный уровень которых сохранился до настоящего времени.

Численность термофильных бактерий. Еще одним индикатором сельскохозяйственного освоения территории является наличие в почве термофильных бактерий. Эти организмы развиваются в условиях высоких температур при перегнивании навоза, и только в случае поступления в почву навоза происходит ее загрязнение термофилами.

Численность термофильных бактерий в почвах существенно уменьшалась по мере удаления от поселения (рисунок 4.7, таблица 4.11). Наибольшее содержание термофилов было выявлено в почве, удаленной от поселения на 60 м, где вниз по профилю их содержание уменьшалось с 147 до 112 тыс. кл./г почвы. В следующей по удалению от поселения почве содержание термофилов также было высоким, но здесь максимальное их содержание было выявлено в нижнем горизонте, на глубине 20–27 см. Далее по трансекте произошло существенное сокращение численности термофильных бактерий до 29 и 18 тыс. кл./г почвы в верхнем горизонте почв, удаленных на 250 и 600 м от поселения. Примечательно, что в почве, удаленной на 600 м от поселения, наблюдалось возрастание содержания термофилов до 5–4 тыс. кл./г почвы на глубине 20–30 и 30–38 см. В почве на участке нерегулярного земледелия термофильные микроорганизмы были выявлены только в слое 0–10 см, и здесь их обилие не превышали 9 тыс. кл./г почвы. В фоновых почвах водораздела уровень термофильных микроорганизмов,

соответствовал значениям для современных незагрязненных почв, и их численность не превышала 1 тыс. кл./г почвы.

Таким образом, высокая численность термофилов в почвах на участке интенсивного сельскохозяйственного воздействия говорит о том, что за период 1500 лет не произошло восстановление почв до исходного состояния. Кроме того, высокая численность этой группы микроорганизмов указывает на значительные масштабы применения навоза в земледельческой практики в аланское время.

Уреазная активность. Те же закономерности, которые были установлены для численности термофильных бактерий, удалось выявить и для другого показателя, тесно связанного с внесением навоза – уреазной активности. По мере удаления от поселения в почвах происходило уменьшение уреазной активности (рисунок 4.7) уреазная активность была выявлена в ближайшей к поселению почве, удаленной от него на 60 м, где в верхнем горизонте ее активность составляла 403 мкг NH_4^+/г почвы, а в нижележащем горизонте уменьшилась почти в два раза. Далее при движении по трансекте от поселения к фоновым участкам произошло резкое уменьшение уреазной активности верхнего горизонта сначала до 143 мкг NH_4^+/г в почве, удаленной от поселения на 120 м, а затем до 67 мкг NH_4^+/г в почве, удаленной на 250 м. В почве, удаленной на 600 м от поселения, произошло некоторое увеличение уреазной активности. В зоне нерегулярного земледелия в аланское время (разрез Б-353), уреазная активность вниз по профилю уменьшалась с 43 до 5 мкг NH_4^+/г почвы. Минимальная уреазная активность была выявлена в почвах, расположенных на вершине водораздела, где в верхнем горизонте она не превышала 22 NH_4^+/г почвы.

Повышенная уреазная активность в зоне активного сельскохозяйственного освоения связана с внесением навоза в аланское время. Известно, что внесение в почву значительного количества органических материалов обычно стимулирует микробиологическую активность и приводит к увеличению микробной биомассы и ферментативной активности (Klose, Tabatabai, 2000; Dodor, Tabatabai, 2003; Marschner et al., 2003). Увеличение уреазной активности при внесении навоза

отмечалось некоторыми авторами (Bandick, Dick, 1999; Antonius, 2003; Bol et al., 2003; Bohme et al., 2005; Bastida et al., 2008), и это обусловлено улучшением почвенных свойств и внесением уреобактерий непосредственно вместе с навозом (Gianfreda, Ruggiero, 2006).

Мы провели сравнение уреазной активности с содержанием керамики в почвах, исходя из предположения, что ее происхождение в почвах связано с внесением навоза вместе с бытовым мусором с поселения (рисунок 4.8). Для этого количество фрагментов керамики было пересчитано на м^3 почвы и рассчитана средняя уреазная активность по всему профилю. Между уреазной активностью и числом фрагментов керамики была выявлена тесная, значимая взаимосвязь (коэффициент корреляции 0.82, при P 0.05).

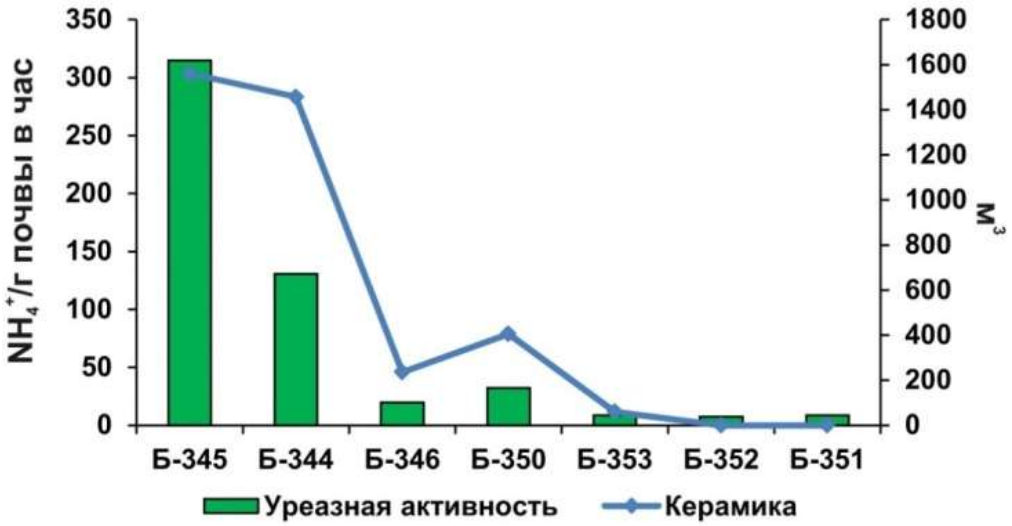

Рисунок 4.8 – Соотношение уреазной активности (средневзвешенная величина по профилю) и содержания керамики в почвах ключевого участка Подкумское-3.

Таким образом, использование навоза в аграрной практике в аланское время привело к увеличению уреазной активности, и ее повышенный уровень сохранился до настоящего времени.

Экофизиологические коэффициенты. В ближайшей к поселению почве (разрез Б-345) наблюдались как низкие значения метаболического коэффициента,

так и низкое соотношение $C_{мик}/C_{орг}$ (рисунок 4.7, таблица 4.13). Невысокое соотношение $C_{мик}/C_{орг}$ показывает уменьшение доступности органического вещества в почве для микроорганизмов, также как и низкие значения qCO_2.

Кроме того, уменьшение экофизиологических коэффициентов может быть вызвано невысокой долей активной микробной биомассы (Joergensen, Emmerling, 2006; Mamilov, Dilly, 2002), что и наблюдается в данном случае. Некоторые авторы отмечают, что низкие значения qCO_2 характерны для почв, в которые вносились органические удобрения (Marinari et al., 2006). Однако внесение удобрений может, как уменьшать, так увеличивать метаболический коэффициент. В системах, где отсутствует лимит питательных веществ, при внесении удобрений будет наблюдаться уменьшение микробной продуктивности и увеличение коэффициента qCO_2, в то время как в системах с недостатком питательных веществ, внесение удобрений будет приводить к уменьшению метаболического коэффициента (Wardle, Ghani, 1995).

В почве, удаленной на 120 м от поселения, произошло некоторое увеличение экофизиологических коэффициентов, что связанно с увеличением доли активных микроорганизмов. В почве, удаленной на 250 м от поселения, соотношение $C_{мик}/C_{орг}$ было самым высоким, и в верхнем слое достигало 2.4, однако значение метаболического коэффициента было оптимальным только в слое 10–20 см. В почве, удаленной на 600 м от поселения, соотношение $C_{мик}/C_{орг}$ было несколько меньше, и здесь наблюдалось увеличение qCO_2 вниз по профилю. Увеличение метаболического коэффициента с глубиной отмечалось и ранее (Lavahum et al., 1996). В почве периферийной аграрной зоны соотношение $C_{мик}/C_{орг}$ в верхнем слое было на уровне двух, вниз по профилю произошло резкое его сокращение, но на глубине 50–60 см вместе с увеличением доли активной биомассы произошло увеличение $C_{мик}/C_{орг}$ Значения метаболического коэффициента, в целом соответствовали оптимальным, но в слое 30–40 и 40–50 см qCO_2 увеличился до 6 и 28 мкг $C\text{-}CO_2$/мг $C_{мик}$/час. Низкие значения микробной биомассы могут характеризовать либо стрессовые условия, либо антропогенные нарушения, и оба эти фактора могут приводить к повышению значений qCO_2 (Wardle, 1993).

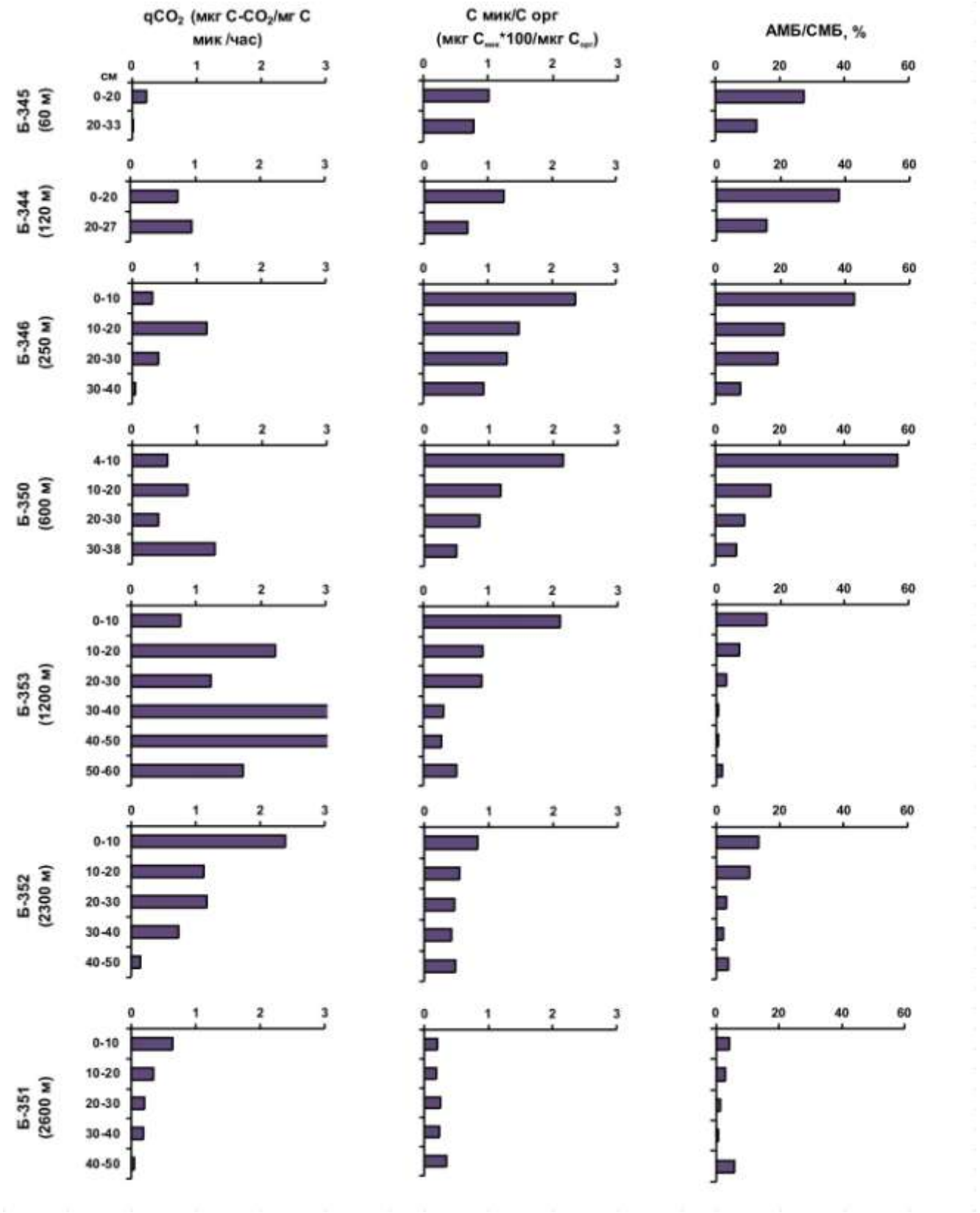

Рисунок 4.9 – Экофизиологические коэффициенты почв ключевого участка Подкумское-3.

В фоновых почвах водораздела произошло резкое уменьшение соотношения $C_{мик}/C_{орг.}$ В почве, удаленной на 2300 м от поселения, экофизиологические коэффициенты равномерно уменьшались вниз по профилю. Метаболический коэффициент и соотношение $C_{мик}/C_{орг}$ уменьшается с глубиной вместе с уменьшением доступности углерода и характеризует ненарушенные экосистемы (Rangger, Insam, 1996). В почве, удаленной на 2600 м от поселения, были выявлены минимальные значения экофизиологических коэффициентов.

Таблица 4.13 – Экофизиологические коэффициенты почв ключевого участка Подкумское-3

Разрез	Горизонт/глубина, см	qCO_2, мкг C-CO_2/мг $C_{мик}$/час	$C_{мик}/C_{орг}$ (мкг $C_{мик}$×100/мкг $C_{орг}$)	АМБ/СМБ, %
Б-345	0–20	0.2	1.0	27.6
(60 м)	20–33	0.0	0.8	12.8
Б-344	0–20	0.7	1.2	38.2
(120 м)	20–27	0.9	0.7	15.5
Б-346	0–10	0.3	2.4	42.8
(250 м)	10–20	1.1	1.5	21.0
	20–30	0.4	1.3	19.3
	30–40	0.0	0.9	7.6
Б-350	0–10	0.5	2.2	56.7
(600 м)	10–20	0.9	1.2	17.3
	20–30	0.4	0.9	9.2
	30–38	1.3	0.5	6.5
Б-353	0–10	0.8	2.1	15.6
(1200 м)	10–20	2.2	0.9	7.2
	20–30	1.2	0.9	3.1
	30–40	6.0	0.3	0.7
	40–50	28.7	0.3	0.7
	50–60	1.7	0.5	1.9
Б-352	0–10	2.4	0.8	13.2
(2300 м)	10–20	1.1	0.5	10.5
	20–30	1.2	0.5	3.1
	30–40	0.7	0.4	2.3
	40–50	0.1	0.5	3.7
Б-351	0–10	0.6	0.2	4.3
(2600 м)	10–20	0.4	0.2	3.1
	20–30	0.2	0.3	1.3
	30–40	0.2	0.2	0.8
	40–50	0.1	0.4	5.9

4.2.3 Корреляционный анализ

В ближайшей к поселению почве (разрез Б-345) была выявлена тесная корреляционная связь активной микробной биомассы, суммарной биомассы грибного мицелия и уреазной активности с химическими свойствами почв, и только с содержанием $CaCO_3$ и pH она была отрицательной (таблица 4.14). В почве, удаленной на 120 м от поселения, также отмечена тесная взаимосвязь между вышеупомянутыми показателями и химическими свойствами, за исключением содержания $N\text{-}NH_4^+{}_{обм}$. Кроме того, здесь выявлялась тесная зависимость численности сапротрофов с химическими свойствами. В почве, удаленной на 250 м от поселения, выявлена прямая зависимость АМБ, СБГМ и уреазной активности с содержанием $C_{орг}$, $CaCO_3$ и минеральных форм азота, а также обратная взаимосвязь между СМБ и pH. В почве, удаленной на 600 м, АМБ, СБГМ, численность сапротрофов и уреазная активность прямо коррелировали с содержанием $C_{орг}$ и минеральных форм азота; между микроскопическими грибами и pH наблюдалась обратная взаимосвязь. В почве периферийной аграрной зоны (разрез Б-353) АМБ, СБГМ, численность сапротрофов и уреазная активность коррелировали с содержанием $C_{орг}$ и подвижных минеральных форм азота, также биомасса грибного мицелия коррелировала с влажностью и содержанием карбонатов. В почве, удаленной на 2300 м от поселения, выявлена тесная взаимосвязь уреазной активности и численности сапротрофов с химическими свойствами, за исключением pH и влажности соответственно. АМБ и СБГМ коррелировали с содержанием $C_{орг}$ (положительная корреляция), $CaCO_3$ и pH (отрицательная корреляция). В почве, максимально удаленной от поселения, АМБ и уреазная активность коррелировали с влажностью, содержанием $C_{орг}$ и минеральными формами азота, также выявлена тесная взаимосвязь СБГМ с содержанием $C_{орг}$ и аммонийной формой азота; сапротрофные бактерии коррелировали только с содержанием нитратного азота.

Таблица 4.14 – Коэффициенты корреляции между химическими свойствами и параметрами биологической активности на ключевом участке Подкумское-3

Показатель	СМБ	АМБ	СБГМ	Сапротрофы	Уреаза
Разрез Б-345 (60 м)					
Влажность	-0.17	**1.00**	**0.97**	0.38	**1.00**
$C_{орг}$	-0.17	**1.00**	**0.97**	0.36	**1.00**
$CaCO_3$	0.21	**-1.00**	**-0.96**	-0.32	**-1.00**
pH	-0.20	**-0.90**	**-0.95**	-0.63	**-0.91**
$N\text{-}NO_3^-$	-0.53	**0.92**	**0.88**	0.23	**0.92**
$N\text{-}NH_4^+{}_{обм}$	-0.39	**0.97**	**0.86**	0.08	**0.96**
Разрез Б-344 (120 м)					
Влажность	0.44	**0.99**	**1.00**	**0.95**	**0.97**
$C_{орг}$	0.40	**0.99**	**0.99**	**0.93**	**0.96**
$CaCO_3$	-0.57	**-0.99**	**-1.00**	**-0.98**	**-0.98**
pH	-0.50	**1.00**	**1.00**	**-0.97**	**-0.99**
$N\text{-}NO_3^-$	0.35	**0.98**	**0.98**	**0.91**	**0.95**
$N\text{-}NH_4^+{}_{обм}$	0.09	-0.78	-0.77	-0.62	-0.73
Разрез Б-346 (250 м)					
Влажность	0.49	0.03	-0.28	0.02	0.06
$C_{орг}$	-0.13	**0.96**	0.15	**0.94**	**0.93**
$CaCO_3$	-0.50	**0.89**	0.26	**0.88**	**0.83**
pH	**-0.84**	-0.30	-0.44	-0.34	-0.42
$N\text{-}NO_3^-$	-0.01	**0.98**	0.34	**0.98**	**0.98**
$N\text{-}NH_4^+{}_{обм}$	-0.07	**0.90**	0.06	**0.98**	**0.87**
Разрез Б-350 (600 м)					
Влажность	0.44	0.08	0.08	0.45	0.30
$C_{орг}$	0.01	**0.95**	**0.74**	**0.99**	**0.99**
$CaCO_3$	-0.31	0.61	0.30	0.41	0.44
pH	-0.28	-0.59	**-0.89**	-0.44	-0.61
$N\text{-}NO_3^-$	0.07	**0.97**	**0.77**	**0.97**	**0.99**
$N\text{-}NH_4^+{}_{обм}$	-0.01	**0.96**	**0.74**	**0.99**	**0.99**

Показатель	СМБ	АМБ	СБГМ	Сапротрофы	Уреаза
Разрез Б-353 (1200 м)					
Влажность	0.54	0.55	**0.83**	0.63	0.48
$C_{орг}$	0.28	**0.89**	**0.79**	**0.78**	**0.93**
$CaCO_3$	0.19	0.05	**0.81**	-0.02	0.08
pH	0.42	-0.17	0.43	-0.15	-0.21
$N\text{-}NO_3^-$	0.27	**0.97**	**0.76**	**0.94**	**0.96**
$N\text{-}NH_4^+{}_{обм}$	0.38	**0.86**	**0.91**	**0.82**	**0.86**
Разрез Б-352 (2300 м)					
Влажность	0.11	0.68	0.68	0.63	**0.73**
$C_{орг}$	0.02	**0.95**	**0.92**	**1.00**	**0.98**
$CaCO_3$	-0.23	**-0.88**	**-0.88**	**-0.89**	**-0.91**
pH	-0.45	-0.64	-0.62	**-0.75**	-0.68
$N\text{-}NO_3^-$	0.42	0.68	0.65	**0.74**	**0.78**
$N\text{-}NH_4^+{}_{обм}$	-0.36	**0.94**	**0.97**	**0.83**	**0.89**
Разрез Б-351 (2600 м)					
Влажность	-0.50	**0.70**	0.57	0.67	**0.76**
$C_{орг}$	-0.11	**0.98**	**0.86**	0.64	**0.93**
$CaCO_3$	-0.68	0.50	0.37	0.18	0.36
pH	-0.32	-0.71	-0.56	-0.48	-0.52
$N\text{-}NO_3^-$	-0.19	**0.87**	0.61	**0.86**	**0.75**
$N\text{-}NH_4^+{}_{обм}$	-0.17	**0.99**	**0.90**	0.57	**0.97**

Жирным шрифтом коэффициенты значимые при P 0.05

Все химические свойства по степени взаимосвязи с различными параметрами биологической активности можно расположить в следующем ряду: $C_{орг}$ □ $N\text{-}NO_3^-$ □ $N\text{-}NH_4^+{}_{обм}$ □ $CaCO_3$ □ влажность □ pH. В наибольшей степени химические свойства (в первую очередь содержание органического углерода) влияли на живую составляющую микробного сообщества почвы.

Проведенный корреляционный анализ между различными параметрами биологической активности показал, что во всех почвах ключевого участка имелась тесная взаимосвязь между активной микробной биомассой и уреазной активностью (таблица 4.15). Это вполне ожидаемо, так как мы определяли суммарную активность фермента, как иммобилизованного почвой, так и фермента, выделяемого живыми клетками. В ближайшей к поселению почве СБГМ коррелировала с АМБ и уреазной активностью. В почве, удаленной на 120 м, отмечена взаимосвязь между АМБ, СБГМ и численностью сапротрофов; уреазная активность здесь коррелировала с сапротрофами и СБГМ. В почве, удаленной на 250 м, между собой коррелировали только АМБ, численность сапротрофов и уреазная активность, такая же ситуация наблюдалась в почве зоны нерегулярного земледелия (разрез Б-353). В почве, удаленной на 600 м (разрез Б-350), АМБ коррелировала с СБГМ и численностью сапротрофов. Кроме того, численность сапротрофов коррелировала с уреазной активностью, а уреазная активность, в свою очередь, с СБГМ. В почвах на максимальном удалении от поселения (разрезы Б-352 и Б-351) отмечено взаимовлияние между всеми изученными параметрами биологической активности, за исключением СМБ. Отсутствие корреляционной связи с этим показателем характерно для всех изученных почв.

Таблица 4.15 – Коэффициенты корреляции между изученными параметрами биологической активности на ключевом участке Подкумское-3

Показатель	АМБ	СБГМ	Сапротрофы	Уреаза
Разрез Б-345 (60 м)				
СМБ	-0.22	-0.08	0.48	-0.19
АМБ		**0.96**	0.32	**1.00**
СБГМ			0.57	**0.97**
Сапротрофы				0.36
Разрез Б-344 (120 м)				
СМБ	0.51	0.50	0.71	0.60
АМБ		**1.00**	**0.97**	**0.99**
СБГМ			**0.97**	**0.98**
Сапротрофы				**0.99**
Разрез Б-346 (250 м)				
СМБ	-0.14	0.57	-0.08	0.02
АМБ		0.36	**1.00**	**0.99**
СБГМ			0.36	0.49
Сапротрофы				**0.99**
Разрез Б-350 (600 м)				
СМБ	-0.08	0.33	0.02	0.04
АМБ		**0.80**	**0.92**	**0.97**
СБГМ			0.67	**0.81**
Сапротрофы				**0.97**
Разрез Б-353 (1200 м)				
СМБ	0.21	0.32	0.26	0.17
АМБ		0.60	**0.97**	**0.99**
СБГМ			0.55	0.61
Сапротрофы				**0.93**
Разрез Б-352 (2300 м)				
СМБ	-0.23	-0.25	-0.07	-0.11
АМБ		**0.99**	**0.97**	**0.99**
СБГМ			**0.94**	**0.96**
Сапротрофы				**0.99**
Разрез Б-351 (2600 м)				
СМБ	-0.23	-0.25	-0.07	-0.11
АМБ		**0.99**	**0.97**	**0.99**
СБГМ			**0.94**	**0.96**
Сапротрофы				**0.99**

Жирным шрифтом коэффициенты значимые при Р 0.05

4.2.4 Заключения по ключевому участку Подкумское-3

Таким образом, сельскохозяйственное освоение территории с длительным внесением навоза в V–VIII вв. н.э. привело к существенному изменению биологической активности почв, и за 1500 лет не произошло ее восстановления. В наибольшей степени антропогенная нагрузка повлияла на показатели уреазной активности, биомассы микроорганизмов, дающих респираторный отклик на внесение глюкозы, численность сапротрофных и термофильных бактерий. Кроме того, высокая численность термофилов в почвах на участке интенсивного сельскохозяйственного воздействия говорит о том, что за период 1500 лет не произошло восстановление почв до исходного состояния, а также указывает на длительность применения навоза в земледельческой практике в аланское время. После забрасывания пахотных угодий произошло увеличение биомассы грибного мицелия и увеличение доли светлоокрашенных гиф в его структуре, вследствие прекращения распашки почв. В изменении суммарной биомассы по трансекте не было выявлено никаких закономерностей. Можно лишь отметить тенденцию к увеличению СМБ по мере удаления от поселения. Это может говорить либо об инертности этого показателя, либо о его восстановлении после прекращения хозяйственного использования территории.

Кроме того, антропогенная нагрузка, связанная с сельскохозяйственным освоением с применением органических удобрений, привела к существенному изменению химических свойств почв. Так, в ближайших к поселению почвах, в зоне заведомо активного сельскохозяйственного использования, отмечался повышенный уровень содержания органического углерода, валового фосфора и накопление нитратного азота.

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

4.3 Ключевой участок Подкумское-7

4.3.1 Химические свойства почв

Поселение Подкумское-7 расположено на останце южной экспозиции. Севернее укрепления расположен обширный до 2–3 га мыс, отрезанный от склона, с характерным подъемом к югу на 4–5°, в результате чего не происходит поступление эрозионного материала на территорию, прилегающую к поселению. В этой ситуации вся земледельческая зона поселения оказывается в эрозионно-опасной зоне.

В окрестностях поселения Подкумское-7 была заложена серия разрезов от поселения к склону (разрезы Б-357, Б-354, Б-356 и Б-358), удаленных на следующие расстояния от поселения: 60, 150, 500 и 700 м соответственно (см. главу 3, стр. 53–57). Почвы водораздельного пространства (разрезы Б-352 и Б-351), которые мы рассматривали в качестве фоновых на ключевом участке Подкумское-3, можно рассматривать в качестве таковых и для ключевого участка Подкумское-7.

Ближайший к поселению разрез заложен в выраженном понижении, образовавшемся на месте выборки камня для строительства стен. В разрезе обнаружено большое количество фрагментов керамики аланского времени, которая сосредоточенна преимущественно в слое 10–20 см (рисунок 4.10).

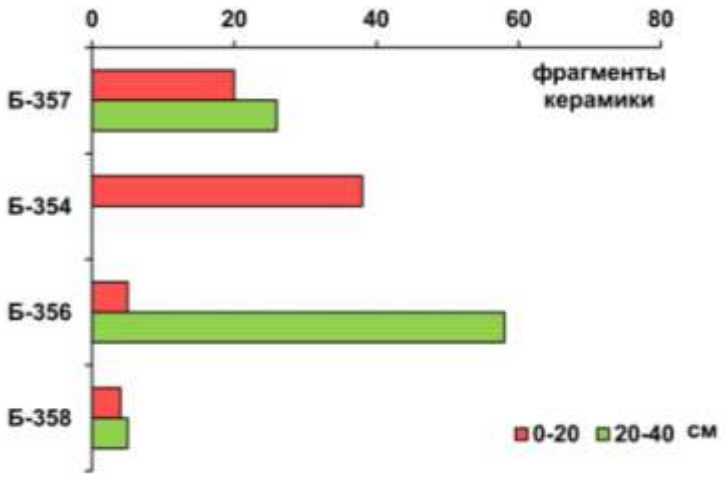

Рисунок 4.10 – Распределение керамики в почвах ключевого участка Подкумское-7.

Разрез Б-354 заложен в зоне активной эрозии. Почвенный профиль сильно эродирован, мощность не превышает 15–20 см. В разрезе обнаружено значительное количество керамики аланского времени.

Разрез Б-356 расположен в выраженном понижении, в зоне аккумуляции эрозионного материала. Основная масса керамики сосредоточена в слое 20–40 см.

Разрез Б-358 расположен на склоне, который, предположительно, не использовался в качестве пахотного угодья, на что указывает незначительное количество керамики. В профиле хорошо сохранилась погребенная почва на глубине 75–100 см.

По мере удаления от поселения происходили существенные изменения свойств почв (таблицы 4.16, 4.17). На участке трансекты протяженностью 500 м (разрезы Б-357, Б-354, Б-356) влажность различных горизонтов почв регистрировалась на уровне 8–9%, некоторое уменьшение этого показателя, до 6.2 и 6.5% наблюдалось в слое 11–23 см разреза Б-357 и в слое 30–40 см разреза Б-356 соответственно. В почве, удаленной на 700 м от поселения, влажность была несколько ниже, причем максимальной она была в слое 10–20 см, и в нижних слоях наблюдалось некоторое увеличение этого показателя относительно вышележащих слоев.

Содержание $C_{орг}$ также было выше на участке трансекты протяженностью 500 м. Здесь максимальное его содержание было выявлено в почве, удаленной от поселения на 150 м, где оно составляло 9%. В почве, удаленной на 60 м, содержание $C_{орг}$ было на уровне 7% в верхнем горизонте. В разрезе Б-356 содержание $C_{орг}$ вниз по профилю равномерно уменьшалось с 8 до 3%. В почве, удаленной на 700 м от поселения на склоновом участке содержание $C_{орг}$ уменьшилось приблизительно в два раза в верхнем слое, и в нижележащих слоях не превышало 1%.

Содержание $CaCO_3$ было максимальным в ближайшей к поселению почве, где в слое 11–23 см оно достигало 62%, что может быть связано с поступлением карбонатов со строительным мусором при сооружении стен поселения. Далее по трансекте отмечено уменьшение содержания карбонатов до 16% в разрезе Б-354.

В почве на расстоянии 500 м от поселения вновь произошло увеличение содержания $CaCO_3$ в слоях 20–30 и 30–40 см. В почве, удаленной на 700 м, содержание карбонатов не превышало 4%.

Таблица 4.16 – Химические свойства и гранулометрический состав почв ключевого участка Подкумское-7

Разрез	Горизонт/глубина, см	Влажность	$C_{орг}$	$CaCO_3$	$pH_{вод}$	Содержание частиц, %	
		%				<0.01	<0.001
Б-357	0–11	9.4	7.6	50.1	7.6	12	6
(60 м)	11–23	6.2	2.6	62.1	7.8	24	8
Б-354	2–10	8.5	9.0	16.2	7.7	34	7
(150 м)	10–15	8.3	8.8	15.9	7.6	31	8
Б-356	0–10	8.9	8.4	10.3	7.5	25	7
(500 м)	10–20	8.9	7.2	8.1	7.5	25	8
	20–30	8.3	4.2	23.8	7.8	28	11
	30–40	6.5	2.6	40.4	7.9	20	7
Б-358	0–10	6.4	3.4	3.6	5.7	21	6
(700 м)	10–20	7.5	2.5	2.2	5.8	13	8
	20–30	4.2	2.1	3.1	6.0	17	13
	30–40	4.5	1.3	3.7	6.2	23	13
	40–50	4.8	1.0	2.7	6.5	24	17
	50–60	4.0	1.0	2.7	6.5	28	18
	60–70	5.0	1.3	2.2	6.6	32	17
	70–80	5.9	1.4	3.1	6.8	29	23
Б-352	0–10	5.2	4.5	2.2	6.2	18	8
(1350 м)	10–20	4.4	4.0	2.2	6.1	21	6
	20–30	4.9	2.1	2.2	6.5	29	12
	30–40	2.9	2.0	2.2	6.3	33	18
	40–50	3.5	1.9	2.2	6.7	29	17
Б-351	0–10	5.2	3.9	2.2	5.4	15	6
(1400 м)	10–20	5.4	3.6	2.2	5.4	20	6
	20–30	3.9	2.0	2.2	5.3	26	11
	30–40	4.4	1.5	1.8	5.7	26	11
	40–50	4.6	1.0	2.2	5.9	32	14

На участке трансекты протяженностью 500 м реакция среды, как правило, была слабощелочной. Далее по трансекте в почве, удаленной на 700 м от поселения, реакция среды вниз по профилю изменялась от близкой к нейтральной до нейтральной.

Наиболее легким гранулометрическим составом характеризовалась ближайшая к поселению почва, здесь по профилю он изменялся от супесчаного до легкосуглинистого. Почва, удаленная на 150 м, характеризовалась среднесуглинистым гранулометрическим составом. Далее по трансекте в разрезе Б-356 гранулометрический состав изменился до легкосуглинистого. В почве, удаленной на 700 м от поселения, гранулометрический состав также был преимущественно легкосуглинистым по всему профилю.

Содержание подвижных минеральных форм азота также было максимальным на участке трансекты, протяженностью 500 м, в предполагаемой пахотной зоне (таблица 4.17). Наибольшее содержание нитратного азота было выявлено в разрезе Б-354, где оно составило 9.43 мг N /100 г почвы. В ближайшей к поселению почве оно составило 4.59 мг N /100 г почвы в верхнем горизонте, а в слое 11–23 см произошло резкое уменьшение содержания $N\text{-}NO_3^-$ до 0.84 мг N /100 г почвы. Несколько меньшее содержание нитратного азота было выявлено в почве, удаленной на 500 м от поселения, где оно составило 3.76 мг N /100 г почвы в верхнем слое, а в нижележащих слоях содержание $N\text{-}NO_3^-$, было на том же уровне. Значительное уменьшение содержания нитратной формы азота наблюдалось лишь на глубине 30–40 см. В почве, удаленной на 700 м от поселения, за пределами предполагаемой пахотной зоны, было выявлено минимальное содержание нитратного азота, не превышающее 0.38 мг N /100 г почвы, причем максимум наблюдался на глубине 40–50 см.

Содержание $N\text{-}NH_4^+{}_{обм}$, как правило, было максимальным в пределах полукилометровой зоны. На этой территории во всех горизонтах почв содержание $N\text{-}NH_4^+{}_{обм}$ было выше, чем содержание $N\text{-}NO_3^-$, в то время как в почве, удаленной на 700 м, аммонийная форма азота преобладала над нитратной. Это может

свидетельствовать о том, что данная территория испытывала минимальный антропогенный прессинг.

Таблица 4.17 – Содержание минеральных форм азота и P_2O_5 в почвах ключевого участка Подкумское-7

Разрез	Горизонт/глубина, см	$N\text{-}NO_3^-$	$N\text{-}NH_4^+{}_{обм}$	P_2O_5	
		мг/100 г почвы		Подвижный, мг/100 г почвы	Валовый, %
Б-357 (60 м)	0–11	4.59	1.17	7.52	0.50
	11–23	0.84	0.43	2.63	0.43
Б-354 (150 м)	0–10	9.43	0.88	9.61	н.д.
	10–15	8.97	0.72	3.95	н.д.
Б-356 (500 м)	0–10	3.76	1.18	5.34	0.33
	10–20	3.56	1.01	2.61	0.27
	20–30	3.20	0.79	1.72	0.25
	30–40	1.13	0.91	1.54	0.21
Б-358 (700 м)	0–10	0.38	0.93	1.62	н.д.
	10–20	сл.	0.60	1.24	н.д.
	20–30	сл.	0.41	1.21	н.д.
	30–40	сл.	0.30	1.64	н.д.
	40–50	0.08	0.23	1.61	н.д.
	50–60	0.04	0.17	1.30	н.д.
	60–70	сл.	0.18	0.84	н.д.
	70–80	0.10	0.19	0.81	н.д.
Б-352 (1350 м)	0–10	0.67	2.30	3.32	0.20
	10–20	0.76	0.81	4.71	0.18
	20–30	0.57	0.71	3.25	0.14
	30–40	сл.	0.52	2.73	0.13
	40–50	сл.	0.50	1.41	0.11
Б-351 (1400 м)	0–10	0.50	2.30	3.32	н.д.
	10–20	0.78	1.92	4.47	н.д.
	20–30	0.21	1.02	3.21	н.д.
	30–40	сл.	0.86	3.32	н.д.
	40–50	сл.	0.64	3.34	н.д.

н.д. – нет данных; сл. – следы

Содержание подвижных фосфатов в почвах в окрестностях поселения было в целом невысоким (таблица 4.17). Максимальные значения этого показателя были выявлены в почве, удаленной на 60 и 500 м от поселения, где вниз по профилю происходило уменьшение этого показателя с 7.52 до 2.63 и с 5.34 до 1.54 мг P_2O_5/100 г почвы. В почве, удаленной на 500 м от поселения, содержание

фосфатов было несколько меньше. Минимальное содержание фосфатов было выявлено в почве, удаленной на 700 м от поселения, здесь в различных горизонтах оно изменялось в пределах от 0.81 до 1.64 мг P_2O_5/100 г почвы. Содержание валового фосфора было определено в разрезах Б-357 и Б-356. В ближайшей к поселению почве его содержание было в 1.5 раза выше, чем в почве, удаленной на 500 м от поселения.

В целом, на ключевом участке Подкумское-7 наблюдалась ситуация аналогичная таковой на ключевом участке Подкумское-3. Здесь также в ближайших к поселению почвах наблюдались повышенное содержание $C_{орг}$ и валового фосфора, накопление $N\text{-}NO_3^-$.

4.3.2 Биологическая активность почв

Суммарная микробная биомасса. Численность микробных клеток в различных горизонтах изученных почв колебалась в пределах от 2.53 до 6.27×10^{11} кл./г почвы (таблица 4.18). На основе этого показателя была рассчитана суммарная микробная биомасса.

В распределении суммарной микробной биомассы по трансекте, так же, как и на ключевом участке Подкумское-3, не было выявлено никаких закономерностей, и различия между почвами и горизонтами почв были недостоверными (таблица 4.18, рисунок 4.11). Но, так же, как и на ключевом участке Подкумское-3, здесь можно отметить некоторую тенденцию к увеличению СМБ по мере удаления от поселения. Минимальные значения микробной биомассы были выявлены в ближайших к поселению почвах, удаленных на 60 и 150 м, где вниз по профилю этот показатель незначительно уменьшился с 3310 до 3193 мкг С/г почвы и с 2647 до 2446 мкг С/г почвы соответственно. В почвах, удаленных на 500 и 700 м от поселения, микробная биомасса составляла 3350 и 3480 мкг С/г почвы соответственно. Причем, если в разрезе Б-356 происходило равномерное уменьшение СМБ с глубиной, то в разрезе Б-358 на глубине 50 см наблюдался второй пик ее возрастания.

Таблица 4.18 – Микробиологические параметры почв и культурных слоев ключевого участка Подкумское-7

Разрез	Горизонт/глубина, см	Суммарная микробная биомасса	Активная микробная биомасса	Численность микроорганизмов, кл.×10^{11}/г почвы	Численность сапротрофных бактерий, кл.×10^{6}/г почвы	Численность термофильных бактерий, кл.×10^{3}/г почвы
		мкг С/г почвы				
Б-357	0–11	3310 ± 705	1164 ± 27	4.14 ± 1.02	2.40 ± 0.01	6.59 ± 1.54
(60 м)	11–23	3193 ± 366	231 ± 13	3.99 ± 0.53	0.87 ± 0.02	7.97 ± 1.91
Б-354	0–10	2647 ± 386	1465 ± 86	3.31 ± 0.56	6.49 ± 0.56	1.09 ± 0.76
(150 м)	10–15	2446 ± 519	1385 ± 102	3.26 ± 0.53	6.15 ± 0.40	–
Б-356	0–10	4405 ± 744	1266 ± 65	5.51 ± 1.08	12.65 ± 0.60	7.08 ± 0.49
(500 м)	10–20	3823 ± 379	636 ± 16	4.78 ± 0.55	3.21 ± 0.26	2.18 ± 1.52
	20–30	3149 ± 278	214 ± 3	3.94 ± 0.40	0.23 ± 0.02	3.25 ± 0.76
	30–40	2022 ± 260	127 ± 5	2.53 ± 0.38	1.26 ± 0.02	–
Б-358	0–10	4830 ± 939	621 ± 13	6.04 ± 1.36	2.81 ± 0.16	4.68 ± 1.81
(700 м)	10–20	4412 ± 898	275 ± 5	5.52 ± 1.30	1.56 ± 0.09	–
	20–30	2643 ± 375	169 ± 6	3.30 ± 0.54	1.28 ± 0.11	0.63 ± 0.42
	30–40	2775 ± 1531	143 ± 21	5.20 ± 1.94	0.07 ± 0.04	–
	40–50	2627 ± 143	83 ± 9	3.28 ± 0.21	0.05 ± 0.01	–
	50–60	3944 ± 773	36 ± 14	4.93 ± 1.12	0.04 ± 0.01	–
	60–70	3621 ± 446	66 ± 10	2.87 ± 1.50	0.14 ± 0.03	–
	70–80	2956 ± 344	20 ± 1	3.70 ± 0.50	0.04 ± 0.01	–
Б-352	0–10	2840 ± 524	376 ± 19	3.55 ± 0.76	0.99 ± 0.15	1.10 ± 0.69
(1350 м)	10–20	2114 ± 126	222 ± 4	5.41 ± 2.78	0.73 ± 0.11	1.00 ± 0.70
	20–30	3221 ± 55	100 ± 6	5.25 ± 0.20	–	–
	30–40	3664 ± 565	85 ± 14	4.58 ± 0.82	0.01 ± 0.01	–
	40–50	2528 ± 684	93 ± 7	3.16 ± 0.99	0.01 ± 0.01	–
Б-351	0–10	1912 ± 171	83 ± 3	2.39 ± 0.30	0.01 ± 0.01	1.10 ± 0.71
(1400 м)	10–20	2257 ± 245	70 ± 2	2.82 ± 0.35	0.04 ± 0.02	–
	20–30	3745 ± 87	50 ± 5	3.63 ± 1.06	0.01 ± 0.01	–
	30–40	4617 ± 89	36 ± 4	4.28 ± 1.34	0.01 ± 0.01	–
	40–50	605 ± 66	35 ± 4	1.15 ± 0.40	–	–

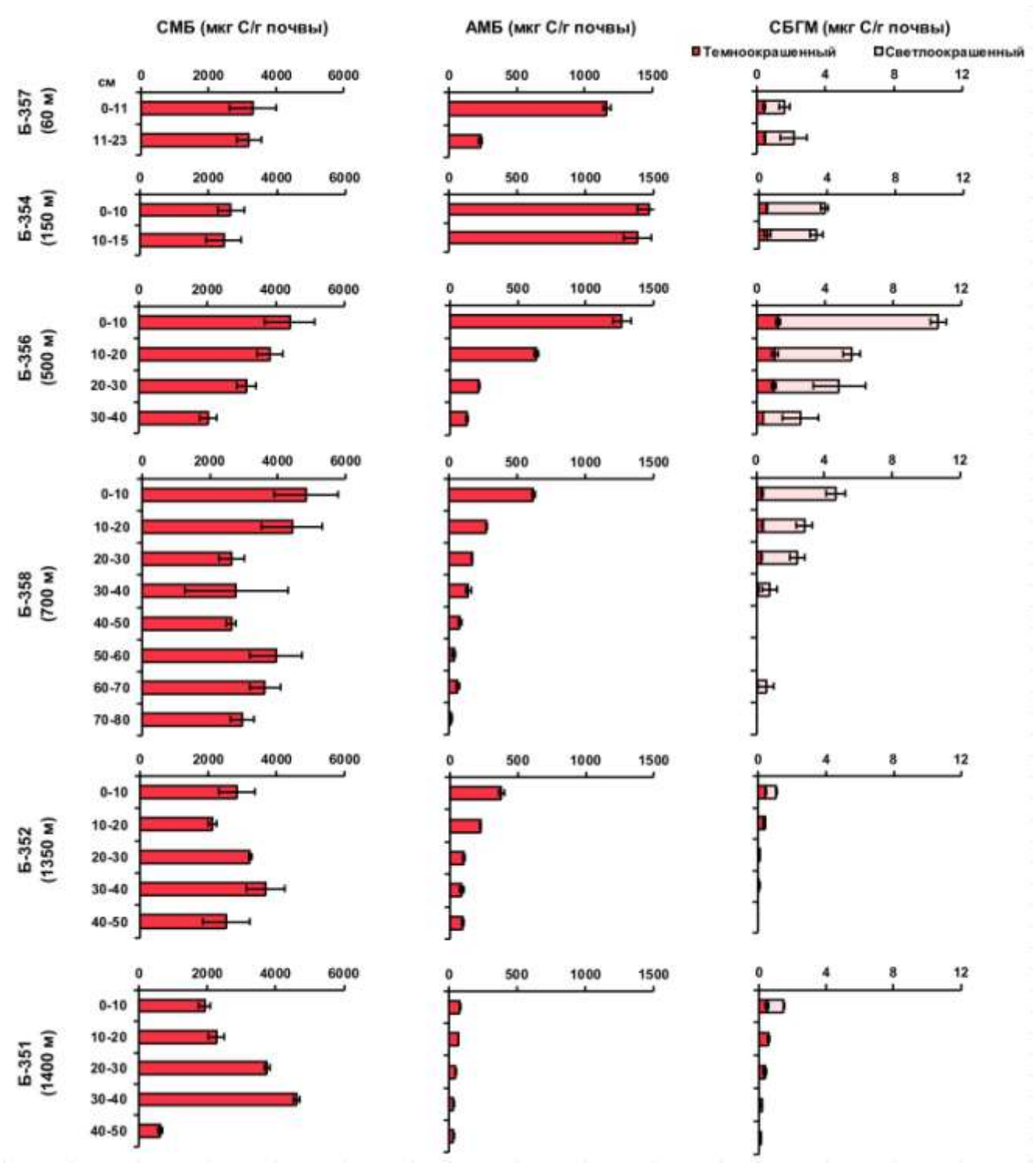

Рисунок 4.11 – Микробная биомасса в почвах ключевого участка Подкумское-7 (СМБ – суммарная микробная биомасса, АМБ – активная микробная биомасса, СБГМ – суммарная биомасса грибного мицелия).

Активная микробная биомасса. Наиболее высокое содержание микроорганизмов, дающих респираторный отклик на внесение глюкозы, было выявлено на участке трансекты протяженностью 500 м (рисунок 4.11, таблица 4.18). Здесь максимальные значения АМБ зафиксированы в почве, удаленной на 150 м от поселения, где вниз по профилю эти значения изменялись от 1465 до 1385 мкг С/г почвы. Несколько меньшей АМБ была в разрезе Б-356, вниз по профилю здесь также наблюдалось постепенно ее уменьшение. В ближайшей к поселению почве биомасса микроорганизмов незначительно отличалась и составляла в верхнем горизонте 1164 мкг С/г почвы, вниз по профилю значения АМБ резко сократились до 231 мкг С/г почвы. В почве, удаленной на 700 м от поселения, произошло сокращение биомассы микроорганизмов в верхнем слое в 2–3 раза, по сравнению с вышеописанными почвами. Кроме того, здесь не наблюдалось равномерного уменьшения АМБ по профилю, и на глубине 60–70 см наблюдалось ее увеличение относительно вышележащего слоя. В целом, на ключевом участке Подкумское-7 наблюдалась аналогичная ситуация как и на ключевом участке Подкумское-3. Здесь также наблюдалось уменьшение АМБ по мере удаления от поселения. Увеличение АМБ, как уже было сказано ранее, обусловлено внесением навоза в почву, так как внесение навоза стимулирует микробиологическую активность (Schnurer et al., 1985; Dick et al., 1992).

Доля АМБ от СМБ также была максимальной в ближайших к поселению почвах, и, в целом, была аналогичной характеру распределения активной микробной биомассы по трансекте и по горизонтам почв.

Суммарная биомасса грибного мицелия. Длина грибного мицелия в различных горизонтах исследованных почв не превышала 9 м/г почвы (таблица 4.19). На основе этого показателя была рассчитана биомасса грибного мицелия. Максимальная биомасса грибного мицелия была выявлена в почве в разрезе Б-356, где вниз по профилю происходило ее уменьшение с 10.6 до 2.6 мкг С/г почвы (рисунок 4.11, таблица 4.19). Возможно, это связано с расположением разреза в микропонижении и периодическим избыточным увлажнением. На других

участках трансекты содержание микроскопических грибов было существенно меньше. В почве, удаленной на 700 м от поселения, их биомасса в верхнем горизонте не превышала 5 мкг С/г почвы, а на глубине 40–60 и 70–80 см микроскопические грибы не были выявлены. В почве, удаленной на 150 м, биомасса грибного мицелия по всему профилю была на уровне 3.9–3.4 мкг С/г почвы. В ближайшей к поселению почве биомасса микроскопических грибов вниз по профилю увеличивалась с 1.6 до 2.2 мкг С/г почвы.

В структуре грибного мицелия во всех изученных почвах преобладал светлоокрашенный. Минимальная его доля была выявлена в почвах вблизи поселения, где этот показатель не превышал 55%. В почвах, удаленных на 150 и 500 м, доля светлоокрашенного мицелия достигала 80–90%. В почве, находящейся на максимальном удалении от поселения за переделами пахотной зоны, доля светлоокрашенного мицелия в различных горизонтах колебалась в пределах от 84 до 100%, и здесь его доля была наибольшей относительно всех изученных почв.

Таблица 4.19 – Длина и биомасса грибного мицелия в почвах ключевого участка Подкумское-7

Разрез	Горизонт/глубина, см	Суммарная длина грибного мицелия, м/г почвы	Биомасса темноокрашенного мицелия	Биомасса светлоокрашенного мицелия	Суммарная биомасса грибного мицелия	Доля светлоокрашенного мицелия, %
			мкг С/г почвы			
Б-357	0–11	1.4 ± 0.3	0.45 ± 0.07	1.16 ± 0.31	1.61 ± 0.38	71.7
(60 м)	11–23	1.9 ± 0.7	0.47 ± 0.06	1.69 ± 0.78	2.16 ± 0.84	78.0
Б-354	0–10	3.4 ± 0.2	0.47 ± 0.04	3.39 ± 0.25	3.85 ± 0.28	87.8
(150 м)	10–15	2.9 ± 0.6	0.51 ± 0.16	2.87 ± 0.37	3.38 ± 0.53	86.2
Б-356	0–10	9.3 ± 0.5	1.26 ± 0.11	9.38 ± 0.47	10.64 ± 0.58	88.2
(500 м)	10–20	4.8 ± 0.6	1.05 ± 0.18	4.51 ± 0.48	5.56 ± 0.67	81.2
	20–30	4.2 ± 1.5	1.01 ± 0.15	3.82 ± 1.51	4.83 ± 1.66	79.2
	30–40	2.3 ± 1.0	0.36 ± 0.01	2.21 ± 1.09	2.56 ± 1.10	86,0
Б-358	0–10	4.1 ± 0.6	0.31 ± 0.06	4.33 ± 0.56	4.65± 0.62	93.1
(700 м)	10–20	2.5 ± 0.4	0.39 ± 0.02	2.44 ± 0.46	2.83 ± 0.48	86.0
	20–30	2.2 ± 0.4	0.29 ± 0.04	2.13 ± 0.43	2.42 ± 0.46	87.9
	30–40	0.7 ± 0.5	0.12 ± 0.05	0.68 ± 0.45	0.80 ± 0.50	84.4
	40–50	–	–	–	–	–
	50–60	–	–	–	–	–
	60–70	0.5 ± 0.4	–	0.57 ± 0.49	0.57 ± 0.49	100.0
	70–80	–	–	–	–	–
Б-352	0–10	1.0 ± 0.2	0.44 ± 0.05	0.62 ± 0.05	1.07 ± 0.17	58.3
(1350 м)	10–20	0.4 ± 0.1	0.29 ± 0.03	0.11 ± 0.01	0.41 ± 0.12	26.5
	20–30	–	–	0.08 ± 0.01	0.08 ± 0.04	100.0
	30–40	–	0.04 ± 0.04	–	0.04 ± 0.04	–
	40–50	–	–	–	–	–
Б-351	0–10	1.4 ± 0.1	0.48 ± 0.07	0.99 ± 0.04	1.47 ± 0.12	67.0
(1400 м)	10–20	0.5 ± 0.0	0.57 ± 0.05	–	0.57 ± 0.05	–
	20–30	0.4 ± 0.1	0.31 ± 0.06	0.08 ± 0.06	0.39 ± 0.12	20.0
	30–40	0.2 ± 0.0	0.19 ± 0.03	–	0.19 ± 0.03	–
	40–50	0.1 ± 0.0	0.11 ± 0.05	–	0.11 ± 0.05	–

Численность сапротрофных бактерий. Численность сапротрофов в почвах земледельческой зоны поселения Подкумское-7 была максимальной в почве разреза Б-356 (рисунок 4.12; таблица 4.20), однако, это относится лишь к слою 0–10 см, где содержание сапротрофов составило 12.65 млн. кл./г почвы. Вниз по профилю произошло резкое уменьшение этого показателя сначала до 3.21 млн. кл./г почвы в слое 10–20 см, затем до 0.23 в слое 20–30 см, а на глубине 30–40 см численность сапротрофов возросла до 1.26 млн. кл./г почвы. Достоверное увеличение численности сапротрофных микроорганизмов зафиксировано в почвах предполагаемой древней пахотной зоны (разрез Б-354, удаленный на 150 м от поселения), где значения достигали 6.49 млн. кл./г почвы, причем с глубиной этот показатель мало изменялся. За пределами пахотной зоны в почве, расположенной в 700 м от поселения, численность сапротрофов составила в верхнем слое 2.81 млн. кл./г почвы, а в нижележащих слоях произошло постепенное ее уменьшение до 1.56 млн. кл./г почвы в слое 10–20 см и 1.28 – в слое 20–30 см.

Таким образом, общая ситуация с обилием сапротрофов в почвах ключевого участка Подкумское-7 соответствует отмеченным ранее закономерностям, выявленным для ключевого участка Подкумское-3, где было показано увеличение численности этой группы микроорганизмов в удобряемых почвах древних полей. Однако в данном случае отмечается несколько большая общая численность сапротрофов и нарушенный характер ее распределения в связи с активными эрозионными процессами.

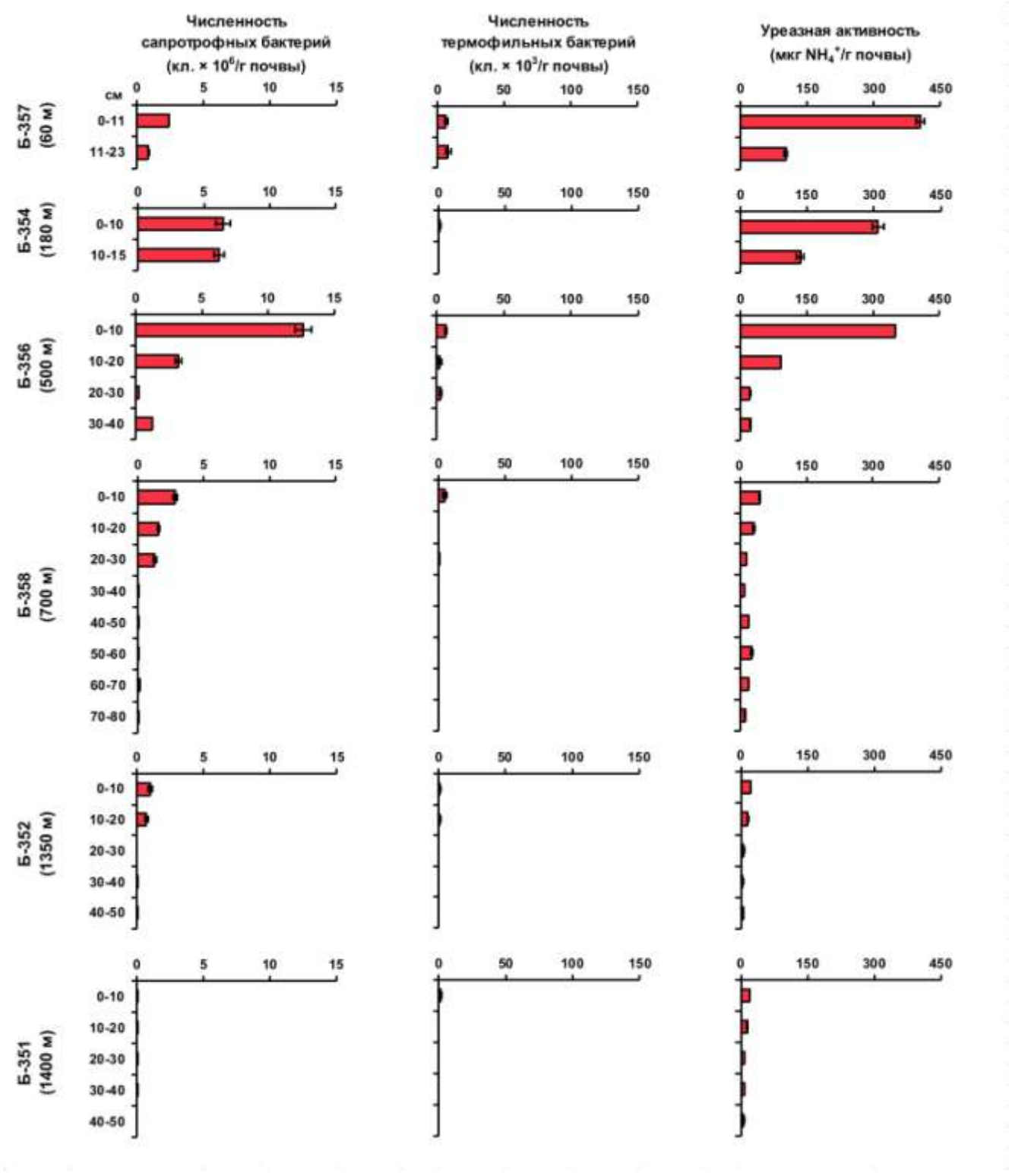

Рисунок 4.12 – Численность сапротрофов и термофилов, уреазная активность в почвах ключевого участка Подкумское-7.

Численность термофильных бактерий. Численность термофильных бактерий в почвах ключевого участка Подкумское-7 была на один-два порядка ниже по сравнению с Подкумкским-3 (рисунок 4.12, таблица 4.18). Это могло быть вызвано двумя причинами. Во-первых, на поля в окрестностях поселения Подкумское-7 могли вносить меньшие нормы удобрений. Вторая, более вероятная причина, связана с меньшим сроком сельскохозяйственного использования территории. Мысовой участок, на котором расположены пахотные угодья поселения Подкумское-7, отрезан от склона, он полностью лишен подпитки грунтовыми водами, и на него не поступает эрозионный материал, в результате чего резко возрастает эрозионная опасность. Вероятно, распашка этого участка могла резко активизировать эрозионные процессы. В этом случае при исходной незначительной и неодинаковой мощности почвенного покрова уже через непродолжительный период эксплуатации в отдельных местах могли обнажиться выходы известковистого песчаника, что сделало бы весьма затруднительной или даже невозможной дальнейшую обработку почвы. Но сам факт присутствия термофильных бактерий и значительные количества керамики в почвах, тем не менее, указывают на обработку почв и внесение удобрений.

Уреазная активность. По трансекте на ключевом участке Подкумское-7, так же как и на Подкумском-3, наблюдалось уменьшение уреазной активности по мере удаления от поселения (рисунок 4.12). Максимальная уреазная активность здесь была отмечена в ближайших к поселению почвах, в разрезах Б-357 и Б-354, где она составляла в верхнем горизонте 404.7 и 309.3 мкг NH_4^+/г почвы в час.

В почве, удаленной на 500 м от поселения, уреазная активность составляла 349.3 мкг NH_4^+/г почвы в час в верхнем слое; в подповерхностных слоях этот показатель уменьшился с глубиной с 91.2 до 21.0 мкг NH_4^+/г почвы в час. Повышенные значения уреазной активности на данном участке обусловлены эрозионными процессами. Также здесь было обнаружено большое количество фрагментов керамики, что также обусловлено аккумуляцией эрозионного материала.

В почве, удаленной на 700 м от поселения, была выявлена минимальная уреазная активность, и в верхнем слое она не превышала 45 мкг NH_4^+/г почвы в час. Кроме того, в профиле этой почвы наблюдалось возрастание активности фермента на глубине 50–60 см.

В почвах окрестностей поселения Подкумское-7 также было найдено большое количество фрагментов керамики, и здесь так же, как и на поселении Подкумское-3, наблюдалась тесная взаимосвязь между ее содержанием и уреазной активностью (рисунок 4.13).

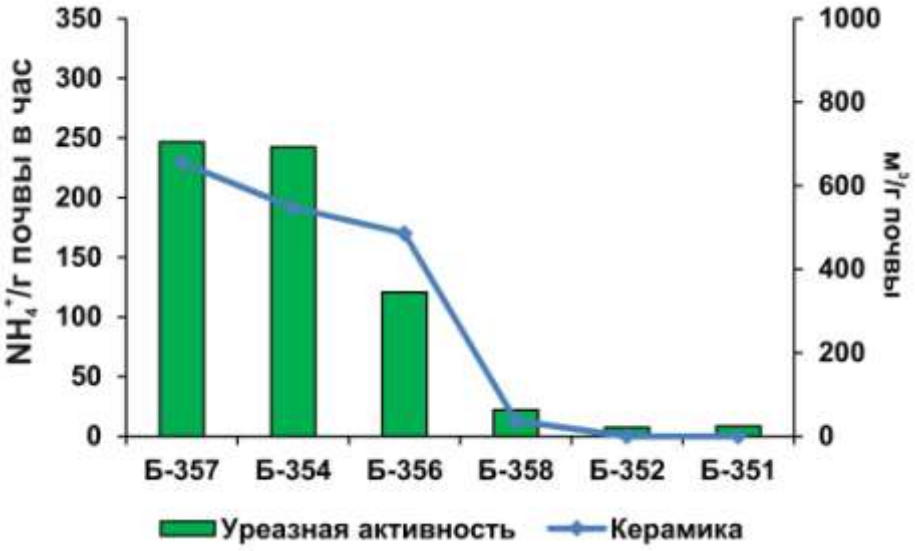

Рисунок 4.13 – Распределение уреазной активности (средневзвешенная величина по профилю) и фрагментов керамики в почвах ключевого участка Подкумское-7.

<u>Экофизиологические коэффициенты.</u> Соотношение $C_{мик}/C_{орг}$ в верхнем горизонте почв трансекты изменялось незначительно, в пределах от 1.5 до 1.8, и в целом вниз по профилю происходило уменьшение этого показателя (рисунок 4.12, таблица 4.20), связанное с уменьшением доступности источников углерода (Lavahum et al., 1996). Максимальным это соотношение было в почве за пределами пахотной зоны в 700 м от поселения.

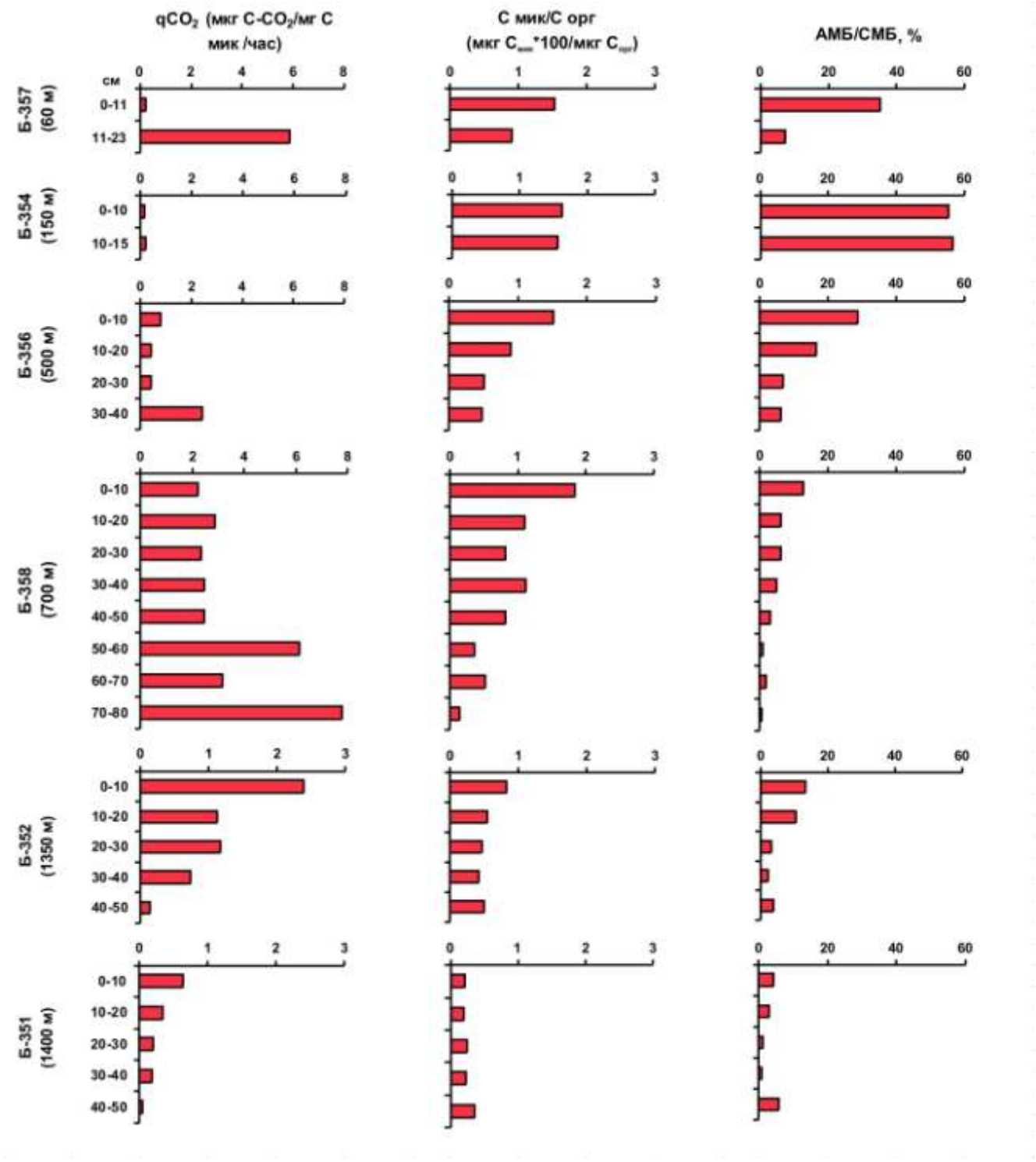

Рисунок 4.14 – Экофизиологические коэффициенты почв ключевого участка Подкумское-7.

Значение метаболического коэффициента в почвах исследуемых разрезов, как правило, увеличивалось вниз по профилю. Увеличение коэффициента qCO_2 обусловлено уменьшением доли активной микробной биомассы от суммарной.

Таблица 4.20 – Экофизиологические коэффициенты почв ключевого участка Подкумское-7

Разрез	Горизонт/глубина, см	qCO_2, мкг С-CO_2/мг $C_{мик}$/час	$C_{мик}/C_{орг}$ (мкг $C_{мик}$×100/мкг $C_{орг}$)	АМБ/СМБ, %
Б-357	А1 0–11	0.2	1.5	35.2
(60 м)	АС 11–23	5.9	0.9	7.2
Б-354	2–10	0.2	1.6	55.3
(150 м)	10–15	0.2	1.6	56.6
Б-356	0–10	0.8	1.5	28.7
(500 м)	10–20	0.4	0.9	16.6
	20–30	0.4	0.5	6.8
	30–40	2.4	0.5	6.3
Б-358	0–10	2.2	1.8	12.9
(700 м)	10–20	2.9	1.1	6.2
	20–30	2.3	0.8	6.4
	30–40	2.5	1.1	5.2
	40–50	2.4	0.8	3.2
	50–60	6.1	0.4	0.9
	60–70	3.2	0.5	1.8
	70–80	7.8	0.1	0.7
Б-352	0–10	2.4	0.8	13.2
(1350 м)	10–20	1.1	0.5	10.5
	20–30	1.2	0.5	3.1
	30–40	0.7	0.4	2.3
	40–50	0.1	0.5	3.7
Б-351	0–10	0.6	0.2	4.3
(1400 м)	10–20	0.4	0.2	3.1
	20–30	0.2	0.3	1.3
	30–40	0.2	0.2	0.8
	40–50	0.1	0.4	5.9

4.3.3 Корреляционный анализ

В почве, удаленной на 60 м от поселения, обнаружена тесная корреляционная связь химических свойств с показателями АМБ, численностью сапротрофов и уреазной активностью, и только с $CaCO_3$ и pH она была обратной (таблица 4.21). Также в этой почве была обнаружена тесная прямая зависимость между pH и СБГМ. В почве, удаленной на 150 м от поселения, все показатели биологической

активности коррелировали с содержанием $C_{орг}$ и аммонийной формой азота. Влажность почвы здесь не влияла только на численность сапротрофов.

Таблица 4.21 – Коэффициенты корреляции между химическими свойствами и параметрами биологической активности на ключевом участке Подкумское-7

Показатель	СМБ	АМБ	СБГМ	Сапротрофы	Уреаза
		Разрез Б-357 (60 м)			
Влажность	-0.02	**1.00**	-0.75	**1.00**	**1.00**
$C_{орг}$	-0.09	**1.00**	-0.71	**1.00**	**1.00**
$CaCO_3$	-0.13	**-0.97**	0.82	**-0.98**	**-0.97**
pH	-0.34	**-0.91**	**0.92**	**-0.93**	**-0.91**
$N\text{-}NO_3^-$	-0.11	**1.00**	-0.71	**0.99**	**1.00**
$N\text{-}NH_4^+{}_{обм}$	-0.09	**1.00**	-0.72	**1.00**	**1.00**
		Разрез Б-354 (150 м)			
Влажность	**0.91**	**0.89**	**0.86**	0.81	**0.89**
$C_{орг}$	**0.96**	**0.92**	**0.95**	**1.00**	**0.90**
$CaCO_3$	0.83	0.80	**0.86**	**0.94**	0.78
pH	**0.86**	0.84	**0.89**	**0.94**	0.81
$N\text{-}NO_3^-$	0.81	0.73	0.77	**0.94**	0.70
$N\text{-}NH_4^+{}_{обм}$	**0.97**	**0.94**	**0.95**	**0.99**	**0.92**
		Разрез Б-356 (500 м)			
Влажность	**0.94**	0.71	0.75	0.51	0.57
$C_{орг}$	**0.97**	**0.93**	**0.89**	**0.80**	**0.83**
$CaCO_3$	**-0.96**	0.77	-0.75	-0.57	-0.61
pH	**-0.95**	**-0.91**	**-0.83**	-0.76	-0.78
$N\text{-}NO_3^-$	**0.95**	0.70	0.76	0.52	0.57
$N\text{-}NH_4^+{}_{обм}$	0.74	**0.95**	**0.86**	**0.96**	**0.95**
		Разрез Б-358 (700 м)			
Влажность	0.62	0.54	0.54	0.57	0.54
$C_{орг}$	**0.66**	**0.94**	**0.96**	**0.99**	**0.75**
$CaCO_3$	-0.17	0.39	0.28	0.24	-0.04
pH	-0.52	**-0.84**	**-0.92**	**-0.88**	**-0.65**
$N\text{-}NO_3^-$	-0.01	0.08	-0.15	-0.04	0.28
$N\text{-}NH_4^+{}_{обм}$	0.72	**0.98**	**0.96**	**0.98**	**0.84**

Жирным шрифтом коэффициенты значимые при Р 0.05

Кроме того, обнаружена тесная положительная взаимосвязь между содержанием $CaCO_3$ и pH с СБГМ и численностью сапротрофов. Содержание $N\text{-}NO_3^-$ коррелировало только с численностью сапротрофных бактерий. В почве, удаленной на 600 м от поселения все показатели биологической активности коррелировали с содержанием $C_{орг}$. Содержание $N\text{-}NH_4^+{}_{обм}$ также коррелировало со всеми показателями, кроме СМБ. Также обнаружена обратная взаимосвязь pH

с СМБ, АМБ и СБГМ. Кроме того, СМБ коррелировала с влажностью и содержанием $N\text{-}NO_3^-$. В почве, удаленной на 700 м от поселения, также была выявлена тесная корреляция биологических показателей с $C_{орг.}$ Кроме того, выявлена тесная зависимость показателей биологической активности (за исключением СМБ) с pH и содержанием $N\text{-}NH_4^+{}_{обм.}$

Также проведен корреляционный анализ между различными показателями биологической активности (таблица 4.22).

Таблица 4.22 – Коэффициенты корреляции между изученными параметрами биологической активности на ключевом участке Подкумское-7

Показатель	АМБ	СБГМ	Сапротрофы	Уреаза
		Разрез Б-357 (60 м)		
СМБ	-0.07	-0.61	-0.04	-009
АМБ		-0.72	**1.00**	**1.00**
СБГМ			-0.74	-0.72
Сапротрофы				**1.00**
		Разрез Б-354 (150 м)		
СМБ	**0.99**	**0.99**	**0.95**	**0.98**
АМБ		**1.00**	**0.91**	**1.00**
СБГМ			**0.94**	**0.99**
Сапротрофы				**0.89**
		Разрез Б-356 (500 м)		
СМБ	**0.89**	**0.91**	0.75	**0.80**
АМБ		**0.97**	**0.96**	**0.97**
СБГМ			**0.94**	**0.96**
Сапротрофы				**1.00**
		Разрез Б-358 (700 м)		
СМБ	**0.67**	0.62	**0.66**	**0.92**
АМБ		**0.94**	**0.95**	**0.91**
СБГМ			**0.99**	**0.74**
Сапротрофы				**0.80**

Жирным шрифтом коэффициенты значимые при P 0.05

В целом, во всех почвах выявлена тесная корреляция между изученными показателями. Так, в почве, удаленной на 150 м от поселения все показатели биологической активности коррелировали между собой. Наименьшая взаимосвязь между показателями биологической активности была выявлена в ближайшей к

поселению почве, удаленной на 60 м. Здесь обнаружена только взаимосвязь между АМБ, численностью сапротрофов и уреазной активностью. В почвах, удаленных на 500 и 700 м, не обнаружена корреляционная связь СМБ с сапротрофами и СМБ с СБГМ соответственно.

4.3.4 Заключение по ключевому участку Подкумское-7

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. В ближайших к поселению Подкумское-7 почвах, в зоне активного сельскохозяйственного освоения с внесением органических удобрений, наблюдался повышенный уровень биомассы микроорганизмов, дающих респираторный отклик на внесение глюкозы, повышенный уровень уреазной активности, численности сапротрофных и термофильных бактерий. В отношении показателей суммарной микробной биомассы и биомассы грибного мицелия, напротив, наблюдалась тенденция к их увеличению в зоне минимального антропогенного воздействия. Кроме того, в ближайших к поселению почвах, так же, как и на ключевом участке Подкумское-3, выявлено повышенное содержание $C_{орг}$, валового фосфора и нитратного азота.

ГЛАВА 5. ИЗМЕНЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПОЧВ КИСЛОВОДСКОЙ КОТЛОВИНЫ В РЕЗУЛЬТАТЕ ДРЕВНЕГО АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Антропогенная нагрузка, имевшая место 1500–1800 лет назад, привела к изменениям микробиологических свойств почв, которые сохранились до настоящего времени. Различные показатели биологической активности неодинокого изменялись в результате хозяйственной деятельности в прошлом, что отражает их различную сенсорность и различную способность восстанавливаться после антропогенного стресса. Рассмотрим подробно особенности изменения каждого показателя.

Биомасса микроорганизмов, дающих респираторный отклик на внесение глюкозы (активная микробная биомасса, АМБ). На ключевом участке Подкумское-3 АМБ была существенно выше в зоне наиболее интенсивного сельскохозяйственного освоения в аланское время, и максимальных значений она достигала в почвах, удаленных на 250 и 600 м от поселения. В ближайших к поселению почвах отмечено некоторое снижение 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 резкое сокращение активной микробной биомассы. Минимальные значения АМБ отмечены в фоновых почвах на удалении свыше 2000 м от поселения. Во всех изученных почвах вниз по профилю происходило уменьшение биомассы микроорганизмов, дающих респираторный отклик на внесение глюкозы.

На ключевом участке Подкумское-7 АМБ также была максимальной в зоне активного освоения в пределах 500 м от поселения, а максимальные значения этого показателя были отмечены в почве, удаленной на 150 м от памятника. В почве, удаленной на расстоянии 700 м от поселения, в зоне меньшего антропогенного прессинга, произошло существенное сокращение микробной биомассы.

На ключевом участке Подкумское-2 биомасса микроорганизмов, дающих респираторный отклик на внесение глюкозы, была максимальной в почве фонового участка. В почвах, подверженных современному антропогенному влиянию, минимальная АМБ была выявлена в почве залежного участка, а в почве выпасного участка этот показатель был незначительно меньше, чем в фоновой почве. В культурных слоях поселения, в целом, было выявлено некоторое уменьшение биомассы микроорганизмов, дающих респираторный отклик на внесение глюкозы. Это характерно, в первую очередь, для жилой зоны поселения. Однако в некоторых культурных слоях производственной зоны, в местах предполагаемого содержания скота, значения АМБ были выше, чем в фоновой почве. В верхних горизонтах культурного слоя в жилой и производственной зонах значения АМБ были, в целом, довольно близки, что связано с нивелирующим эффектом современного почвообразования. При этом в культурном слое жилой зоны наблюдалось существенное уменьшение АМБ с глубиной. Так, в слое 10–20 см оно значения уменьшилось почти в шесть раз. Некоторое возрастание биомассы микроорганизмов, дающих респираторный отклик на внесение глюкозы, наблюдалось здесь только на глубине 40–50 см.

Таким образом, в почвах бывших земледельческих угодий и в местах содержания скота на древних поселениях отмечается значительное увеличение активной микробной биомассы, вероятнее всего, связанное с внесением органических материалов, которые стимулируют микробиологическую активность.

Суммарная микробная биомасса (СМБ). В отличие от активной микробной биомассы, значения СМБ нельзя рассматривать в качестве надежного индикатора древнего антропогенного воздействия на почвы. Так, на ключевом участке Подкумское-3, явных закономерностей в изменении СМБ по мере удаления от поселения выявлено не было. В ближайшей к поселению почве, удаленной от него на 60 м, значения СМБ были близки к таковым в фоновых почвах на расстоянии около 2500 м от памятника. Некоторое увеличение значений СМБ отмечено в почве, расположенной в 1200 м от поселения в предполагаемой

периферийной аграрной зоне. В тоже время в почве, удаленной на 120 м от поселения, в зоне заведомо интенсивного антропогенного воздействия, СМБ была минимальной. Можно отметить некоторое увеличение значений СМБ в нижней части профиля в фоновых почвах с минимальным антропогенным воздействием.

На ключевом участке Подкумское-7, в целом, зафиксирована отмеченная выше тенденция некоторого увеличения СМБ по мере уменьшения интенсивности антропогенного прессинга. Здесь максимальные значения СМБ отмечены в почвах, удаленных на 500 и 700 м от поселения. В почвах на территории, прилегающей к поселению, отмечается снижение величин СМБ. Что касается профильного изменения этого показателя в почвах ключевого участка Подкумское-7, то здесь трудно выявить какие-либо закономерности. В разрезе Б-356 отмечалось уменьшение величин СМБ с глубиной, в то время как в разрезе Б-358 наблюдался более сложный характер ее распределения, по-видимому, связанный с особенностями эрозионно-аккумулятивных процессов.

На ключевом участке Подкумское-2 максимальной СМБ характеризовалась почва фонового участка, где этот показатель достигает 4000–5000 мкг С/г почвы, при этом в гор. АС этот показатель был выше чем в гор. А1. Современная антропогенная деятельность в виде выпаса и распашки (около 30 лет назад) привела к существенному сокращению этого показателя. В культурном слое на территории поселения достоверное уменьшение СМБ наблюдаются только в производственной зоне. В жилой зоне различия величин СМБ были не достоверными, и здесь можно говорить лишь о тенденции к уменьшению этого показателя.

Таким образом, суммарная микробная биомасса почв является достаточно инертным показателем, который либо незначительно изменялся при древнем антропогенном воздействии, либо эти изменения не сохранились до настоящего времени. Отмечается лишь некоторая тенденция к сокращению СМБ по мере возрастания антропогенного прессинга.

Суммарная биомасса грибного мицелия (СБГМ). Довольно информативным показателем древнего антропогенного воздействия на почвы

является варьирование биомассы грибного мицелия. На ключевом участке Подкумское-3 максимальная биомасса грибного мицелия была выявлена в почвах в зоне заведомо интенсивного антропогенного прессинга. Причем, на данном участке в почвах на различном удалении от поселения она варьировала незначительно. В ближайших к поселению почвах, удаленных на 60 и 120 м от памятника вниз по профилю содержание микроскопических грибов уменьшалось незначительно. В почвах, удаленных на 250 и 600 м от поселения наблюдались вторые максимумы биомассы грибного мицелия в слое 30–40 и 20–30 см соответственно. Данные максимумы соответствуют предполагаемой глубине залегания аланского пахотного слоя, что подтверждается распределением керамики того времени в этих почвах. Далее по трансекте, на участках, где антропогенная нагрузка была минимальной, отмечено существенное сокращение этого показателя.

В целом, в изученных почвах в структуре грибного мицелия преобладали светлоокрашенные гифы. Некоторое возрастание доли темноокрашенных гиф наблюдалось только в почве, удаленной на 120 м от поселения. В отличие от почв бывших земледельческих угодий, в фоновой почве водораздела, удаленной на 2600 м от поселения, преобладание светлоокрашенного мицелия наблюдалось только в верхнем слое, тогда как в более глубоких слоях весь грибной мицелий был представлен темноокрашенными гифами.

На ключевом участке Подкумское-7 не было выявлено каких-либо строгих закономерностей в распределении биомассы грибного мицелия. Здесь минимальное содержание микроскопических грибов было выявлено в ближайших к поселению почвах. Это обусловлено значительной интенсивностью эрозионных процессов. На расстоянии 500 м от поселения, в зоне аккумуляции эрозионного материала, произошло существенное возрастание биомассы микроскопических грибов. В почве, удаленной на 700 м от поселения содержание грибного мицелия вновь уменьшилось, причем с глубины 40 см это показатель не регистрировался, за исключением слоя 60–70 см. В целом, во всех изученных почвах наблюдалось

равномерное уменьшение содержания микроскопических грибов вниз по профилю.

В структуре грибного мицелия в почвах окрестностей поселения преобладали светлоокрашенные гифы.

На ключевом участке Подкумское-2 биомасса микроскопических грибов, также как и АМБ, была минимальной в почве залежного участка, и за 30 лет также не произошло восстановления этого показателя до фоновых значений. Максимальная биомасса грибного мицелия была выявлена в почве выпаса, где отмечено увеличение СБГМ вниз по профилю. В фоновых почвах содержание микроскопических грибов было несколько ниже. В культурных слоях поселения биомасса грибного мицелия была на уровне фоновых почв, при этом в культурном слое жилой зоны отсутствовали какие-либо закономерности в распределении микроскопических грибов по профилю, и на различных глубинах здесь наблюдалось несколько максимумов возрастания их содержания, а на глубине 30–40 см биомасса грибного мицелия была больше, чем в слое 0–10 см.

Таким образом, в почвах древних полей отмечается увеличение биомассы микроскопических грибов в период после прекращения обработки, тогда как собственно распашка вызывает резкое уменьшение этого показателя. Данные закономерности имеют место в тех случаях, когда интенсивность эрозионно-аккумулятивных процессов незначительна.

Численность сапротрофных бактерий. На ключевом участке Подкумское-3 максимальная численность сапротрофных бактерий наблюдалась в почвах, подвергшихся максимально интенсивному антропогенному прессингу. Здесь на участке трансекты протяженностью 600 м в почвах наблюдалось постепенное возрастание численности этой группы микроорганизмов по мере удаления от памятника. На периферии аграрной зоны также отмечалось высокое обилие сапротрофов, однако вниз по профилю здесь происходило более резкое их уменьшение. В фоновой почве, расположенной на максимальном удалении от поселения, численность сапротрофов была ниже в 20–40 раз.

На ключевом участке Подкумское-7 в ближайших к поселению почвах также отмечена наиболее высокая численность сапротрофов. В почве, удаленной на 700 м от поселения, была выявлена минимальная численность этой группы микроорганизмов.

На ключевом участке Подкумское-2 во всех антропогенно-преобразованных почвах наблюдалось увеличение численности сапротрофов относительно фоновой почвы. В культурном слое производственной зоны, в местах предполагаемого содержания скота, количество сапротрофов было максимальным в средней части профиля. В жилой зоне по всему профилю культурного слоя численность сапротрофных бактерии превышала аналогичные показатели фоновой почвы.

Современное антропогенное воздействие привело к увеличению количества сапротрофов в почве выпаса. В почве залежи численность сапротрофных бактерий была лишь незначительно выше, чем в фоновой почве.

Таким образом, во всех почвах древних удобряемых полей и культурных слоях поселений наблюдалось возрастание численности сапротрофных бактерий в результате антропогенного прессинга. Причем за период 1500–1800 лет не произошло восстановления этого показателя до исходных значений.

Численность термофильных бактерий. Еще одним индикатором интенсивного сельскохозяйственного использования территории является численность термофильных бактерий. На ключевом участке Подкумское-3 происходило резкое уменьшение численности термофильных бактерий по мере удаления от поселения. Наибольшее их содержание было выявлено в почвах, удаленных на 60 и 120 м, и если в ближайшей к поселению почве обилие термофилов незначительно уменьшилось с глубиной, то в почве, удаленной на 120 м, наоборот, наблюдалось их возрастание вниз по профилю. Далее по трансекте произошло сокращение численности термофилов в почвах более чем в три раза. В почве, удаленной на 600 м от поселения, количество термофилов было незначительно ниже, причем на глубине 20–40 см, в предполагаемом аланском пахотном слое, они также регистрировались, хотя в слое 10–20 см термофилы

выявлены не были. В фоновых почвах численность термофилов была невысокой, соответствующая таковой для незагрязненных почв.

На ключевом участке Подкумское-7 численность термофильных бактерий была максимальной в ближайшей к поселению почве, а также в зоне аккумуляции эрозионного материала (разрез Б-356). Несколько меньшие значения наблюдались в почве, удаленной на 700 м от поселения, кроме того, здесь термофильные микроорганизмы были выявлены не только в верхнем слое, но и на глубине 20–30 см. Минимальной численность термофилов была в почвах, удаленных на 150 и 180 м от поселения. В целом, различия между почвами и горизонтами почв на данном ключевом участке были недостоверными.

В культурных слоях поселения Подкумское-2 термофильные микроорганизмы не были выявлены ни в жилой, ни в производственной зонах.

Современное антропогенное воздействие привело к увеличению численности термофильных микроорганизмов лишь в почвах выпасного и залежного участков. В почве залежного участка их обилие было максимальным, причем в слое 10–23 см численность термофилов была в два раза выше, чем в верхнем горизонте. Эта же картина распределения микроорганизмов наблюдалась и в отношении сапротрофных бактерий. Сопоставляя полученные данные можно предположить, что слой 10–23 см представляет собой пахотный горизонт.

Таким образом, антропогенная нагрузка в виде сельскохозяйственного освоения с систематическим внесением навоза и компостов, приводит к значительному увеличению численности термофильных микроорганизмов. За период 1500 лет не произошло полного самоочищения почв, так как выявленный нами уровень их численности в настоящее временя соответствует таковому для загрязненных почв, что указывает на значительные масштабы и длительность применения навоза в аграрной практике в аланское время. Данный вывод, частично, подтверждается не только литературными данными, но и полученными нами результатами для почвы бывшего пахотного участка, находящегося в залежном состоянии более 30 лет.

Целлюлазная активность. Целлюлазная активность на ключевом участке Подкумское-2 в современных почвах и культурных слоях поселения, в целом, различалась несущественно. Отмечено лишь заметное возрастание активности фермента в слое 10–30 см культурного слоя в производственной зоне. В культурном слое жилой зоны значения целлюлазной активности в верхнем горизонте были на уровне фоновой почвы, однако с глубины 60–70 см здесь вновь наблюдалось возрастание целлюлазной активности, и в слое 70–80 см она превышала таковую верхнего слоя. Возрастание целлюлазной активности на значительной глубине культурного слоя связано со значительным попаданием целлюлозосодержащих материалов во время его формирования.

Уреазная активность. На ключевом участке Подкумское-3 по мере удаления от поселения происходило существенное уменьшение уреазной активности. Максимальная уреазная активность была выявлена в ближайшей к поселению почве. Далее по трансекте произошло ее уменьшение более чем в два раза. Минимальная ферментативная активность была выявлена в почвах на удалении около 2500 м от поселения. Сопоставляя данные по уреазной активности, содержанию керамики в почвах, численности сапротрофов и термофилов мы можем говорить о предполагаемых границах пахотных удобряемых угодий. Граница зоны активного сельскохозяйственного освоения с внесением навоза располагалась примерно в 600 м от поселения. На расстояние около 1000 м располагалась зона нерегулярной распашки без внесения навоза, и на расстоянии 2000 м – территория, которая не испытывала антропогенного прессинга.

На ключевом участке Подкумское-7 также наблюдалось уменьшение уреазной активности. Однако здесь ситуация была существенно усложнена более интенсивно протекающими эрозионно-аккумулятивными процессами. Максимальная уреазная активность была выявлена в почвах, удаленных на 60 и 150 м от поселения. Далее по трансекте произошло существенное возрастание уреазной активности, и ее увеличение здесь было связано с тем, что данная почва расположена на участке аккумуляции эрозионного материала.

На ключевом участке Подкумское-2 уреазная активность культурных слоев поселения, в целом, была выше, чем в современных почвах, прилегающих к поселению. Уровень уреазной активности и характер ее распределения существенно различались в культурных слоях жилой и производственной зон памятника. Наиболее высоких значений активность уреазы достигала в культурном слое производственной зоны в местах предполагаемого содержания скота и поступления в почву значительных объемов мочевины с навозом. Кроме того, в этой зоне по всей толще культурного слоя, в том числе и в подповерхностных слоях, она была довольно высокой. Следует отметить, что в этих же слоях отмечена высокая целлюлазная активность, что позволяет рассматривать сочетание этих двух показателей как индикатор мест содержания скота на древних поселениях. В жилой зоне высокий уровень уреазной активности был отмечен только в верхнем горизонте, а вниз по профилю произошло ее резкое уменьшение.

Минимальная уреазная активность на ключевом участке Подкумское-2 была выявлена в почве фонового участка. Несколько выше ее значения были выявлены в почве бывшего пахотного участка. В окрестностях поселения максимальная уреазная активность была выявлена на выпасном участке, и здесь она была вдвое выше, чем в фоновой почве.

Таким образом, антропогенная нагрузка, связанная с проживанием населения и содержанием скота, а также сельскохозяйственным освоением, приводит к достоверному увеличению уреазной активности.

Подводя итог вышесказанному, мы можем говорить о том, что антропогенная нагрузка в большей степени влияет на показатели уреазной активности, численности термофильных и сапротрофных бактерий, что выражается в увеличении этих показателей. Также в результате антропогенной деятельности происходит увеличение биомассы микроорганизмов, дающих респираторный отклик на внесение глюкозы, но это увеличение наблюдалось, в отдельных случаях, только в местах содержания скота, а также на земледельческих полях с длительным внесением органических удобрений. Увеличение живой

составляющей микробного сообщества, скорее всего, обусловлено улучшением почвенных свойств, и в первую очередь, увеличением содержания органического углерода, которое было вызвано длительным, регулярным внесением навоза. Также в древних антропогенно-преобразованных почвах наблюдалась тенденция к увеличению суммарной биомассы грибного мицелия, что было характерно для ключевых участков Подкумское-2 и Подкумское-3. Наименьшим изменениям подверглась суммарная микробная биомасса. Существенное уменьшение этого показателя в антропогенно-преобразованных почвах наблюдалось только на ключевом участке Подкумское-2, на участке, находящемся в залежном состоянии более 30 лет.

ВЫВОДЫ

1. Антропогенная нагрузка в древности и современное время привела к существенному изменению химических свойств и биологической активности почв, 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 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 восстановления характеристик микробного сообщества до исходного состояния. Можно лишь говорить о некотором 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 применяются в практике археологических исследований для выявления ареалов пахотных угодий и установления потенциальной хозяйственной зоны древних поселений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агроклиматические ресурсы Ставропольского края. – Ленинград: Гидрометеорологическое изд-во, 1971. – 238 с.

2. Александровский, А. Л. Почвы и культурный слой Москвы: Строение, история развития / А. Л. Александровский // Тезисы докладов Международной конференции «Проблемы антропогенного почвообразования». – Москва, 1997. – С. 96–99.

3. Александровский, А. Л. Почвы и культурный слой Москвы: строение, история развития, география / А. Л. Александровский, И. А. Бойцов, Н. А. Кренке // Известия РАН. Серия географическая. – 1997. – № 3. – С. 82–95.

4. Алябина, И. О. Единый государственный реестр почвенных ресурсов России. Версия 1.0. / И. О. Алябина, В. А. Андроханов, В. В. Вершинин, С. Н. Волков и др.; глав. ред. А. Л. Иванов, С. А. Шоба. – Изд-во: Почвенный ин-т им. В. В. Докучаева, 2014. – 768 с.

5. Ананьева, Н. Д. Методические аспекты определения скорости субстрат-индуцированного дыхания почвенных микроорганизмов / Н. Д. Ананьева, Е. В. Благодатская, Д. Б. Орлинский, Т. Н. Мякшина // Почвоведение. – 1993. – № 11. – С. 72–77.

6. Антыков, А. Почвы Ставрополья и их плодородие / А. Антыков, А. Стоморев. – Ставропольское книжное издательство, 1970. – 416 с.

7. Аринушкина, Е. В. Руководство по химическому анализу почв / Е. В. Аринушкина. – М.: Изд-во МГУ, 1970. – 487 с.

8. Афанасьев, Г. Е. Этнические аспекты генезиса катакомбного обряда погребений в салтово-маяцкой культуре / Г. Е. Афанасьев // Аланы и Кавказ. – Цхинвал: СОИГИб, 1993. – С. 83–97.

9. Афанасьев, Г. Е. Древности Кисловодской котловины / Г. Е. Афанасьев, С. Н. Савенко, Д. С. Коробов. – М.: Научный мир, 2004. – 240 с.

10. Березин, Я. Б. О «темных веках» в истории Кисловодской котловины / Я. Б. Березин // Некоторые итоги археологических исследований Кисловодской котловины в начале XXI века. Материалы VI заседания Круглого стола в музее

«Крепость» 8 октября 2010 г. – Кисловодск: Северо-Кавказское изд-во МИЛ, 2011. – С. 82–94.

11. Борисов, А. В. Изучение следов террасного земледелия в Кисловодской котловине / А. В. Борисов, Д. С. Коробов // Российская археология. – 2009. – № 3. – С. 23–34.

12. Борисов, А. В. Древнее и средневековое земледелие в Кисловодской котловине: итоги почвенно-археологических исследований / А. В. Борисов, Д. С. Коробов. – М.: Таус, 2013. – 272 с.

13. Борисов, А. В. Древние земледельческие террасы Кисловодской котловины: история развития почв и современное состояние / А. В. Борисов, Д. С. Коробов, А. Н. Симакова, О. Г. Занина, А. В. Бухонов, В. В. Демидов // Почвоведение. – 2012. – № 6. – С. 630–647.

14. 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. – 2013. – № 4. – С. 142–162.

15. Бочкарев, А. Н. Определение нитратов в почве, воде и растениях / А. Н. Бочкарев, В. Н. Кудеяров // Химия в сельском хозяйстве. – 1982. – № 4. – С.49–52.

16. Броневский, С. М. Новейшие известия о Кавказе, собранные и пополненные Семеном Броневским / С. М. Броневский. – СПб.: Петербургское Востоковедение, 2004. – 491 с.

17. Воробьева Л. А. Химический анализ почв / Л. А. Воробьева. – М.: МГУ, 1998. – 272 с.

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

19. Галстян, А. Ш. Ферментативная активность почв Армении. Вып. VIII / А. Ш. Галстян. – Ереван: Изд-во АЙАСТАН, 1974. – 275 с.

20. Галушко, А. И. Анализ флоры западной части Центрального Кавказа / А. И. Галушко // Флора Северного Кавказа и вопросы ее истории. – Ставрополь, 1976. – Вып. 1. – С. 5–130.

21. Геология СССР, т. IX, Северный Кавказ, ч. 1 – Геологическое описание / Главный редактор А. В. Сидоренко, редактор В. Л. Андрущук, соредакторы: А. Я. Дубинский, В. Е. Хаин. – М.: «Недра», 1968. – 760 с.

22. Герасимова, М. И. Антропогенные почвы: генезис, география, рекультивация. Учебное пособие / М. И. Герасимова, М. Н. Строганова, Н. В. Можарова, Т. В. Прокофьева. – Смоленск: Ойкумена, 2003. – 266 с.

23. Демкина, Т. С. Микробные сообщества палеопочв археологических памятников пустынно-степной зоны / Т. С Демкина, А. В. Борисов, В. А. Демкин // Почвоведение. – 2000. – № 9. С. 1117–1126.

24. Демкина, Т. С. Микробиологические исследования подкурганных палеопочв пустынно-степной зоны Волго-Донского междуречья / Т. С. Демкина, А. В. Борисов, В. А. Демкин // Почвоведение. – 2004. – № 7. – С. 853–859.

25. Демкина, Т. С. Микробиологические исследования палеопочв археологических памятников степной зоны / Т. С. Демкина, Т. Э. Хомутова, Н. Н. Каширская, И. В. Стретович, В. А. Демкин // Почвоведение. – 2010. – № 2. – С. 213–220.

26. Добровольская, Т. Г. Бактериальное разнообразие целинных и пахотных почв Владимирской области / Т. Г. Добровольская, И. Ю. Чернов, С. М. Лукин // Почвоведение. – 2001. – № 9. – С. 1092–1096.

27. Добровольский, Г. В. Экология почв. Учение об экологических функциях почв: учебник. 2-е изд., уточн. и доп./ Г. В. Добровольский, Е. Д. Никитин. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 2012. – 412 с.

28. Долгих, А. В. Формирование педолитоседиментов и почвенно-геохимической среды древних городов Европейской России: дис. … канд. геогр. наук: 25.00.23/ Долгих Андрей Владимирович. – М., 2010. – 153 с.

29. Долотов, В. А. Старопахотная почва двухтысячелетнего использования / В. А. Долотов // Почвоведение. – 1984. – № 1. – С. 103–106.

30. Дударев, С. Л. Белореченский 2-й могильник – памятник эпохи раннего железа Кавказских Минеральных Вод / С. Л. Дударев // Материалы и исследования по археологии Северного Кавказа. Вып. 3. – Армавир, 2004. – С. 16–100.

31. Думитрашко, Н. В. Геоморфологическое районирование. В кн.: Кавказ / Н. В. Думитрашко. – М.: Наука, 1966. – С. 80–85.

32. Жук, А. В. Василий Алексеевич Городцов в рязанский период его жизни, службы и научной деятельности / А. В. Жук. – Омск: Изд-во ОмГУ, 2005. –536 с.

33. Естественно-научные методы исследования культурных слоев древних поселений. – М.: НИА-Природа, 2004. – 161 с.

34. Звягинцев, Д. Г. Почва и микроорганизмы / Д. Г. Звягинцев. – М: Изд-во Моск. ун-та, 1987. – 256 с.

35. Звягинцев, Д. Г. Биология почв / Д. Г. Звягинцев, И. П. Бабьева, Г. М. Зенова. – М.: Изд-во МГУ, 2005. – 445 с.

36. Иванов, А. Л. Флора Предкавказья и её генезис / А. Л. Иванов. – Ставрополь, 1998. – 204 с.

37. Иванова, А. Е. Микологические характеристики культурного слоя средневекового поселения на дерново-карбонатных почвах / А. Е. Иванова, О. Е. Марфенина, Е. Е. Кислова, Э. П. Зазовская // Почвоведение. – 2006. – № 1. С. 62–71.

38. Иванова, Т. И. Численность микроорганизмов и уровни микробиологической активности мерзлотных антропогенно-трансформированных палевых почв Якутии / Т. И. Иванова, Н. П. Кузьмина, А. П. Чевычелов // Почвоведение. – 2008. – № 11. – С. 1371–1380.

39. Каздым, А. А. Археологическая минералогия / А. А. Каздым. – М.: Изд-во ЧП «Скороходов»», 2010. – 44 с.

40. Казеев, К. Ш. Биология почв Юга России / К. Ш. Казеев, С. И. Колесников, В. Ф. Вальков. – Ростов-на-Дону: Изд-во ЦВВР, 2004. – 350 с.

41. Казеев, К. Ш. Влияние карбонатности пород на биологические свойства горных почв Северо-Западного Кавказа / К. Ш. Казеев, М. А. Кутровский, Е. В. Даденко, Л. С. Везденеева, С. И. Колесников, В. Ф. Вальков // Почвоведение. – 2012. – № 3. – С. 327–335.

42. Каширская, Н. Н. Микробная биомасса подкурганных и современных почв степной зоны Нижнего Поволжья / Н. Н. Каширская, Т. Э. Хомутова, Т. С. Демкина, В. А. Демкин // Почвоведение. – 2009. – № 5. – С. 581–587.

43. Ковалева, Г. В. Структура бактериальных сообществ в естественных и антропогенно-нарушенных бурых лесных почвах ботанического сада (п-ов Муравьева-Амурского) / Г. В. Ковалева, Т. Г. Добровольская, А. В. Головченко // Почвоведение. – 2007. – № 5. – С. 610–615.

44. Ковалевская, В. Б. Кавказ – скифы, сарматы, аланы. I тыс. до н.э.–I тыс. н.э. / В. Б. Ковалевская. – М.: ИА РАН, 2005. – 401 с.

45. Кожевин, П. А. Динамика развития различных микроорганизмов в почве / П. А. Кожевин, Л. М. Полянская, Д. Г. Звягинцев // Микробиология. – 1979. – Т. 48. – № 4. – С. 490–494.

46. Козенкова, В. И. Кобанская культура. Западный вариант / В. И. Козенкова. – М.: Наука, 1989. – 89 с.

47. Кореневский, С. Н. Памятники населения бронзового века Центрального Предкавказья (Нежинские курганы эпохи бронзы района Кавказских Минеральных Вод) / С. Н. Кореневский. – М.: ИА АН СССР, 1990. – 204 с.

48. Кореневский, С. Н. Древнейшие земледельцы и скотоводы Предкавказья / С. Н. Кореневский. – М.: Наука, 2004. – 243 с.

49. Коробов, Д. С. К вопросу о скальных захоронениях Кисловодской котловины / Д. С. Коробов // Проблемы древней истории и культуры Северного Кавказа: Сборник статей. – М.: ИА РАН, 2004. – С. 83–99.

50. Коробов, Д. С. Укрепления эпохи раннего средневековья на Боргустанском хребте близ Кисловодска / Д. С. Коробов // Проблемы истории, филологии, культуры. № 1. – Изд-во Магнитогорского гос. ун-та, 2010. – С. 560–593.

51. Коробов, Д. С. Этапы заселения Кисловодской котловины по данным археологии / Д. С. Коробов // Краткие сообщения института археологии РАН. – Вып. 228. – 2013. – С. 19–31.

52. Коробов, Д. С. «Итоги работ 2012–2013 гг. в Кисловодской котловине» / Д. С. Коробов // Доклад на заседании отдела охранных раскопок ИА РАН, Москва, 19 мая 2014.

53. Коробов, Д. С. О земледелии алан Кисловодской котловины в I тыс. н.э. / Д. С. Коробов, А. В. Борисов // Российская археология. – 2012. – № 2. – С. 39–51.

54. Костюченко, И. П. Генетические особенности древнеорошаемых почв / И. П. Костюченко, Г. Н. Лисицина //Почвоведение. – 1976. – № 2. – С. 3–13.

55. Кудеяров, В. Н. Колориметрическое определение аммонийного азота в почвах и растениях феноловым методом / В. Н. Кудеяров // Агрохимия. – 1965. – № 6. – С. 146–150

56. Кудеяров, В. Н. Цикл азота в почве и эффективность удобрений / В. Н. Кудеяров. – М.: Наука, 1989. – 216 с.

57. Кузнецов В. А. Аланские племена Северного Кавказа / В. А. Кузнецов. – М.: Наука, 1962. – 304 с.

58. Кузнецов, В.А. Очерки истории алан. 2-е изд. / В. А. Кузнецов. – Владикавказ: Ир, 1992. – 287 с.

59. Культурные слои археологических памятников. Теория, методы и практика исследований. Материалы научной конференции. – М.: ИГ РАН, ИА РАН, НИА-Природа, 2006. – 306 с.

60. Лисецкий, Ф. Н. Агрогенная трансформация почв сухостепной зоны под влиянием античного и современного этапов землепользования / Ф. Н. Лисецкий // Почвоведение. – 2008. – № 8. – С. 913–927.

61. Лисицина, Г. Н. Почва как источник информации при изучении древнего земледелия / Г. Н. Лисицина, И. П. Костюченко // Советская археология. – 1976. – № 1. – С. 23–41.

62. Лысак, Л. В. Бактерии в окультуренных почвах монастырей таежно-лесной зоны / Л. В. Лысак, Н. А. Семенова, М. А. Буланкина, И. С. Урусевская, Н. Н. Матинян // Почвоведение. – 2004. – № 8. – С. 976–985.

63. Лысак, Л. В. Микробные комплексы городских почв / Л. В. Лысак, Н. Н. Сидоренко, О. Е. Марфенина, Д. Г. Звягинцев // Почвоведение. – 2000. – № 1. – С. 80–85.

64. Любин, В. П. Первые находки среднего и нижнего палеолита на Ставрополье / В. П. Любин, Е. В. Беляева // XXII «Крупновские чтения» по археологии Северного Кавказа (тезисы докладов). – Ессентуки – Кисловодск, 2002. – С. 79–81.

65. Марфенина, О. Е. Антропогенная экология почвенных грибов / О. Е. Марфенина. – М.: медицина для всех, 2005. – 196 с.

66. Марфенина, О. Е. Микологические характеристики культурных слоев почв древнерусских поселений / О. Е. Марфенина, Е. В. Горбатовская, М. В. Горленко // Микробиология. – 2001. – Т. 70. – № 6. – С. 855–859.

67. Марфенина, О. Е. Грибные сообщества почв раннесредневековых поселений таежно-лесной зоны / О. Е. Марфенина, А. Е. Иванова, Е. Е. Кислова, Э. П. Зазовская, И. Ю. Чернов // Почвоведение. – 2008. – № 7. – С. 850–860.

68. Масютенко, Н. П. Влияние удобрений, типа севооборота, экспозиции склона и вида угодий на динамику содержания микробной биомассы в черноземе типичном / Н. П. Масютенко, О. В. Нагорная, О. В. Лукьянчикова // Агрохимия. – 2009. – № 5. – С. 49–54.

69. Материалы международной научной конференции по археологическому почвоведению, посвященной памяти В.А. Демкина. – Пущино, Изд-во ООО “Фотон-век”, 2014. – 259 с.

70. Методические указания по санитарно-микробиологическому исследованию почвы. – М., 1977. – 48 с.

71. Методы почвенной микробиологии и биохимии.: учеб. пособие / Под. ред. Д. Г. Звягинцева. – М.: Изд-во МГУ, 1991. – 304 с.

72. Мильков, Ф. Н. Человек и ландшафты: очерки антропогенного ландшафтоведения / Ф. Н. Мильков. – М.: Мысль, 1973. – 224 с.

73. Мишустин, Е. Н., Микроорганизмы и самоочищение почвы / Е. Н. Мишустин, М. И. Перцовская. – Изд-во АН СССР, 1954. – 652 с.

74. Мишустин, Е. Н. Санитарная микробиология почвы / Е. Н. Мишустин, М. И. Перцовская, В. А. Горбов. – М.: Наука, 1979, – 304 с.

75. Мукатанов, А. Х. Географо-экологический условия и ферментативная активность почв / А. Х. Мукатанов // Экологические условия и ферментативная активность почв. – Уфа, 1979. – С. 32–40.

76. Новиков, В. В. Биологическая активность древнекультурного агрозема с погребенными горизонтами (Иверский монастырь, XVII в.) / В. В. Новиков, А. Л. Степанов // Микробиология. – 2000. – № 3. – С. 441–446.

77. Полянская, Л. М. Содержание и структура микробной биомассы как показатель экологического состояния почв / Л. М. Полянская, Д. Г. Звягинцев // Почвоведение. – 2005. – № 6. – С. 706–714.

78. Полянская, Л. М. Изменение состава, микробной биомассы в почве при окультуривании / Л. М. Полянская, С. М. Лукин, Д. Г. Звягинцев // Почвоведение. – 1997. – № 2. – С. 206–212.

79. Практикум по биологии почв: учеб. пособие / Г. М. Зенова, А. Л. Степанов, А. А. Лихачева, Н. А. Манучарова. – М.: Издательство МГУ, 2002. – 120 с.

80. Практикум по почвоведению / Под ред. И. С. Кауричева. – М.: Колос, 1973. – 279 с.

81. Прокофьева, Т. В. Опыт микро-морфологической диагностики городских почв / Т. В. Прокофьева, С. Н. Седов, М. Н. Строганова, А. Каздым // Почвоведение. – 2001. – № 7. – С. 879–890.

82. Самойлова, Е. М. Почвообразующие породы / Е. М. Самойлова. – М.: Изд-во Моск. Ун-та, 1983. – 173 с.

83. Скрипникова, М. И. Изучение древнего земледелия в горах Кавказа / М. И. Скрипникова // Древний Кавказ: ретроспекция культур. Международная научная конференция, посвященная 100-летию со дня рождения Е. И. Крупнова (XXIV «Крупновские чтения» по археологии Северного Кавказа). – Москва, 2004. – С. 181–183.

84. Соколова, Т. А. Глинистые минералы в почвах / Т. А. Соколова, Т. Я. Дронова, И. И. Толпешта. – Тула: ГрифиК, 2005. – 336 с.

85. Сычева, С. А. Культурные слои древних поселений как объект междисциплинарных исследований / С. А. Сычева // Культурные слои археологических памятников. Теория, методы и практика исследований. Материалы научной конференции. – М.: ИГ РАН, ИА РАН, НИА-Природа, 2006. – С. 45–54.

86. Таргульян, В. О. Концепция памяти почв: развитие фундаментальной базы генетического почвоведения / В. О. Таргульян // Многоликая география. Развитие идей И. П. Герасимова (к 100-летию со дня рождения). – М., 2005. – С. 114–131.

87. Умаров, М. М. Микробиологическая трансформация азота в почве / М. М. Умаров, А. В. Кураков, А. Л. Степанов. – М.: ГЕОС, 2007. – 138 с.

88. Фридланд, В. М. Проблемы географии, генезиса и классификации почв / В. М. Фридланд. – М.: Наука, 1986. – 245 с.

89. Хазиев, Ф. Х. Системно-экологический анализ ферментативной активности почв / Ф. Х. Хазиев. – М.: Наука. 1982. – 204 с.

90. Хомутова, Т. Э. Оценка биомассы микробных сообществ почв сухих степей по содержанию в них фосфолипидов / Т. Э. Хомутова, В. А. Демкин // Почвоведение. – 2011. – № 6. – С. 748–754.

91. Хомутова, Т. Э. Оценка суммарной и активной микробной биомассы разновозрастных подкурганных палеопочв / Т. Э Хомутова, Т. С. Демкина, В. А. Демкин // Микробиология. – 2004. – Т. 73. – С. 241–247.

92. Чижикова, Н. П. Преобразование минералогического состава почв в процессе агрогенеза: автореф. дис. ... д. с.-х. н.: 06.01.04 / Чижикова Наталья Петровна. – М., 1991. – 48 с.

93. Чернышева, Е. В. Уреазная активность культурного слоя поселения катакомбной культуры Рыкань-3 / Е. В. Чернышева, Е. И. Гак, А. В. Борисов // Проблеми дослідження пам’яток археологіі східноі Украіни. Материалы III Луганской историко-археологической конференции памяти С.Н. Братченко. – Луганск, 2012. – С. 388–392.

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

95. Чернышева, Е. В. Изменение биологической активности дерново-карбонатных почв Кисловодской котловины под влиянием древнего и современного антропогенного воздействия / Е. В. Чернышева, Н. Н. Каширская, Д. С. Коробов, А. В. Борисов // Почвоведение. – 2014б. – № 9. – С. 1068–1076.

96. Шаманов, И. М. Скотоводство и хозяйственный быт карачаевцев в XIX–начале XX в. / И. М. Шаманов. – М.: Наука, 1972. – 95 с.

97. Шапошникова, И. М. Изменение органического вещества почв при их сельскохозяйственном использовании / И. М. Шапошникова, А. А. Новиков // Почвоведение. – 1986. – № 8. – С. 58–62.

98. Щукин, И. Очерки геоморфологии Кавказа, ч. 1 – Большой Кавказ / И. Щукин. – М.: Изд-во ассоциации научно-исследовательских институтов при физико-математическим факультете Моск. ун-та, 1926. – 201 с.

99. Acosta-Martinez, V. Enzyme activities and microbial community structure in semiarid agriculture soils / V. Acosta-Martinez, T. M. Zobeck, T. E. Gill, A. C. Kennedy // Biol Fertil Soils. – 2003. – V. 38. – P. 216–227.

100. Allison, V. J. Changes in soil microbial community structure in a tallgrass prairie chronosequence / V. J. Allison, R. M. Miller, J. D. Jastrow, R. Matamala, D. R. Zak // Soil Sci Soc Am J. – 2005. – V. 69. – P. 1412–1421.

101. Alvarez, R. Soil organic carbon, microbial biomass and CO_2-C production from three tillage systems / R. Alvarez, R. A. Diaz, N. Barbero, O. J. Santanatoglia, L. Blotta // Soil Till Res. – 1995. – V. 33. – P. 17–28.

102. Anderson, J. P. E. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils / J. P. E. Anderson, K. H. Domsch // Soil Biol Biochem. – 1978. – V. 10. – P. 215–221.

103. Anderson, J. P. E. Quantities of plant nutrients in the microbial biomass of selected soils / J. P. E. Anderson, K. H. Domsch // Soil Science. – 1980. – V. 130. – P. 211–216.

104. Anderson, T. H. Application of eco-physiological quotients (qCO_2 and qD) on microbial biomasses from soils of different cropping histories / T. H. Anderson, K. H. Domsch // Soil Biol Biochem. – 1990. – V. 22. – P. 251–255.

105. Anderson, T. H., Domsch K. H. Rations of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils / T. H. Anderson, K. H. Domsch // Soil Biol Biochem. – 1989. – V. 21. – P. 471–479.

106. Anderson, T. H. Physiological analysis of microbial communities in soil: applications and limitations / T. H. Anderson // In: K. Ritz, J. Dighton, K. E. Giller (Ed.): Beyond the Biomass. – Wiley-Sayce, Chichester, UK, 1994. – P. 67–76.

107. Angers, D. A. Microbial and biochemical changes induced by rotation and tillage in a soil under barley production / D. A. Angers, N. Bisonnette, A. Legere, N. Samson // Can J Soil Sci. – 1993. – V. 73. – P. 39–50.

108. Antonius, G. F. Impact of soil management and two botanical insecticides on urease and invertase activity / G. F. Antonius // J Environ Sci Health B. – 2003. – V. 38. – P. 479–488.

109. Aon, M. A. Spatio-temporal patterns of soil microbial and enzymatic activities in an agriculture soil. I. / M. A. Aon, M. N. Cabello, D. A. Sarena, A. C. Colaneri, M. G. Franco // Appl Soil Ecol. – 2001. – V. 18. – P. 239–254.

110. Aon, M. A. Temporal and spatial evolution of enzymatic activities and physic-chemical properties in an agriculture soil. II. / M. A. Aon, A. C. Colaneri // Appl Soil Ecol. – 2001. – V. 18. – P. 255–270.

111. Arrhenius, O. Die Bodenanalyse im Dienst der Archaologie, Zeitschrift fur Pflanzenernahrung, Dungung, und Bodenkunde / O. Arrhenius // Tiel B. – 1931. – V. 10. – S. 427–439.

112. Bandick, A. K. Field management effects on soil enzyme activities / A. K. Bandick, R. P. Dick // Soil Biol Biochem. – 1999. – V. 31. – P. 1471–1479.

113. Barda, L. The old as source of new archaeological information / L. Barda // 15th Wold Cong. of Soil Sci. – 1994. – V.6. – P. 345.

114. Bardgett, R. D. Changes in soil fungal : bacterial biomass ratios following reductions in the intensity of management of an upland grassland / R. D. Bardgett, P. J. Hobbs, A. Frostegard // Biol Fertil Soils. – 1996. – V. 22. – P. 261–264.

115. Bastida, F. Application of fresh and composed organic wastes modifies structure, size, and activity of microbial community under semiarid climate / F. Bastida, E. Kandeler, J. L. Moreno, M. Ros, C. Garcia, T. Hernandez // Appl Soil Ecol. –2008. – V. 40. – P. 318–329.

116. Benaya, J. M. R. Restoration of biodiversity and ecosystem services on agriculture land / J. M. R. Benaya, J. M. Bullock // Ecosystems. – 2012. – V. 15. – P. 883–889.

117. Bergstrom, D. W. Sensitivity of soil enzyme activities to conservation practices / D. W. Bergstrom, C. M. Monreal, D. J. King // Soil Sci Soc Am J. – 1998a. V. 62. – P. 1286–1295.

118. Bergstrom, D. W. Spatial dependence of soil enzyme activities along a slope / D. W. Bergstrom, C. M. Monreal, J. A. Millette, D. J. King // Soil Sci Soc Am J. 1998b. – V. 62. – P. 1302–1308.

119. Biederbeck, V. O. Effect of crop rotation and fertilization on some biological properties of a loam in southwestern Saskatchewan / V. O. Biederbeck, C. A. Campbell, R. P. Zentner // Can J Soil Sci. – 1984. – V. 64. – P. 355–367.

120. Bittman, S. Responses of the bacterial and fungal biomass in a grassland soil to multi-year applications of dairy manure slurry and fertilizer / S. Bittman, T. A. Forge, C. G. Kowalenko // Soil Biol Biochem. – 2005. – V. 37. – P. 613–623.

121. Bohme, L. Microbial biomass, enzyme activities and microbial community structure in two European long-term field experiments / L. Bohme, U. Langer, F. Bohme // Agric Ecosyst Environ. – 2005. – V. 109. P. 141–152.

122. Bol, R. Short-term effects of dairy slurry amendment on carbon sequestration and enzyme activities in a temperate grassland / R. Bol, E. Kandeler, W. Amelung, B. Glaser, M. C. Marx, N. Preedy, K. Lorenz // Soil Biol Biochem. – 2003. – V. 35. – P. 1411–1421.

123. Burket, J. Z. Microbial and soil parameters in relation to N mineralization in soil of diverse genesis under differing management system / J. Z. Burket, R. P. Dick // Biol Fertil Soil. – 1998. – V. 27. – P. 430–438.

124. Carter, M. R. Microbial biomass as an index for tillage-induced changes in soil biological properties / M. R. Carter // Soil Till Res. – 1986. – V. 7. – P. 29–40.

125. Carter, M. R. Influence of reduced tillage systems on organic matter, microbial biomass, macro-aggregate distribution and structural stability of the surface soil in a humid climate / M. R. Carter // Soil Till Res. – 1992. – V. 23. – P. 361–372.

126. Cordova, C. E. Holocene environmental change in southwestern Crimea (Ukraine) in pollen and soil records / C. E. Cordova, P. H. Lehman // The Holocene 2005. – V. 15. – P. 263–277.

127. Crecchio, C. Short-term effects of municipal solid waste compost amendments on soil carbon and nitrogen content, some enzyme activities and genetic diversity / C. Crecchio, M. Curci, R. Mininni, P. Ricciuti, P. Ruggiero // Biol Fertil Soils. – 2001. – V. 34. – P. 311–318.

128. de Vries, F. T. Fungal biomass in pastures increases with age and reduced N input / F. T. de Vries, J. Bloem, N. van Eekeren, L. Brusaard, E. Hoffland // Soil Biol Biochem. – 2007. – V. 39. – P. 1620–1630.

129. Delgado, R. The historic man-made soils of the Generalife garden (La Alhambra, Granada, Spain) / R. Delgado, J. M. Martín-García, J. Calero, M. Casares-Porcel, J. Tito-Rojo, G. Delgado // Eur J Soil Sci. – 2007. – V. 58. – P. 215–228.

130. Deng, S. P., Tabatabai M. A. Effect of tillage and residue management on enzyme activities in soils: III. Phosphatases and arylsulfatase / S. P. Deng, M. A. Tabatabai // Biol Fertil Soils. – 1997. – V. 24. – P. 141–146.

131. Dick, R. P. A review: long-term effects of agriculture systems on soil biochemical and microbial parameters / R. P. Dick // Agric ecosyst environ. – 1992. – V. 40. – P. 25–36.

132. Dick, R. P. Influence of long-term residue management on soil enzyme activities in relation to soil chemical properties of a wheat-fallow system / R. P. Dick, P. E. Rasmussen, E. A. Kerle // Biol Fertil Soils. – 1988. – V. 6. – P. 159–164.

133. Dick, R. P. Soil enzyme activities after 1500 years of terrace agriculture in the Colca Valley, Peru / R. P. Dick, J. A. Sandor, N. S. Eash // Agric Ecosyst Environ. – 1994. – V. 50. – P. 123–131.

134. Dodor, D. E. Amidohydrolases in soil as affected by cropping system / D. E. Dodor, M. A. Tabatabai // Appl Soil Ecol. – 2003. – V. 24. – P. 73–90.

135. Dumontet, S. Effectiveness of microbial indices in discriminating interactive effects of tillage and crop rotation in Vertic Ustothens / S. Dumontet, A. Mazzatura, C. Casucci, P. Perucci // Biol Fertil Soil. – 2001. – V. 34. – P. 411–416.

136. Edmeades, D. C. The long-term effects of manure and fertilisers on soil productivity and quality: a review / D. C. Edmeades // Nutrient Cycling in Agroecosystems. – 2003. – V. 66. – P. 165–180.

137. Eidt, R. C. Detection and examination of anthrosols by phosphate analysis / R. C. Eidt // Science. – 1977. – V. 197. – P. 1327–1333.

138. Eivazi, F. Select soil enzyme activities in the historic Sanborn Field as affected by long-term cropping systems / F. Eivazi, M. R. Bayan, K. Schmidt // Soil Sci Plant Anal. – 2003. – V. 34. – P. 2259–2275.

139. Ellis, E. C. Putting people in the map: anthropogenic biomes of the world / E. C. Ellis, N. Ramankutty // Front Ecol Environ. – 2008. – V. 6. – P. 439–437.

140. Feng, Z. Soil microbial communities under conventional-till and no-till contin-uous cotton systems / Z. Feng, A. C. Motta, D.W. Reeves, C. H. Burmester, E. van Santen, J. A. Osborne // Soil Biol Biochem. – 2003. – V. 35. – P. 1693–1703.

141. Foley, J. A. Global consequences of land use / J. A. Foley, R. DeFriers, G. P. Asner, C. Barford, G. Bonan, S. R. Carpenter, F. S. Chapin, M. T. Coe, G. C. Daily, H. K. Gibbs, J. H. Helkowski, T. Holloway, E. A. Howard, C. J. Kucharick, C. Monfreda, J. A. Patz, I. C. Prentice, N. Ramankutty, P. K. Snyder // Science. – 2005. – V. 309. – P. 570–574.

142. Frankenberger, W. T. Relationships between enzyme activities and microbial growth and activity indices in soil / W. T. Frankenberger, W. A. Dick // Soil Sci Soc Am J. – 1983. – V. 47. P. 945–951.

143. Frey, S. D. Bacterial and fungal abundance and biomass in conventional and no-tillage agroecosystems along two climatic gradients / S. D. Frey, E. T. Elliott, K. Paustian // Soil Biol Biochem. – 1999. – V. 31. – P. 573–585.

144. Friedel, J. K. Soil microbial properties and assessment of available soil organic matter in haplic luvisol after several years of different cultivation and crop rotation / J. K. Friedel, J. P. Munch, W. R. Fisher // Soil Biol Biochem. – 1996. – V. 28. – P. 479–488.

145. Garcia, C. Revegetation in semiarid zones: influense of terracing and organic refuse on microbial activity / C. Garcia, T. Hernandez, J. Albaladejo, V. Castillo, A. Roldan // Soil Sci Soc Am J. – 1998. – V. 62. – P. 670–676.

146. Giacometti, C. Chemical and microbiological soil quality indicators and their potential to differentiate fertilization regimes in temperate agroecosystems / C. Giacometti, M. S. Demyan, L. Cavani, C. Marzadori, C. Ciavatta, E. Kandeler // Appl Soil Ecol. – 2013. – V. 64. – P. 32–48.

147. Gianfreda, L. Enzyme activities in soil / L. Gianfreda, P. Ruggiero // In: Nannipieri P., Smalla K. (Ed.). Nucleic acids and proteins in soil. Soil Biology 8. – Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2006. – P. 257–295.

148. Goodman-Elgar, M. Evaluating soil resilience in long-term cultivation: a study of pre-Columbian terraces from Paca Valley, Peru / M. Goodman-Elgar // J Archaeol Sci. – 2008. – V. 35. – P. 3072–3086.

149. Guerrero, C. Microbial biomass and activity of an agriculture soil amended with the solid phase of pig slurries / C. Guerrero, R. Moral, I. Gomez, R. Zornoza, V. Arcenegui // Bioresource Technology. – 2007. – V. 98. – P. 3259–3264.

150. Haynes, R. J. Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic matter content and physical conditions: a review / R. J. Haynes, R. Naidu // Nutrient Cycling in Agroecosystems. – 1998. – V. 51. – P. 123–137.

151. Holliday, V. T. Methods of soil P analysis in archeology / V. T. Holliday, W. G. Gartner // J Archaeol Sci. – 2007. – V. 34 – P. 301–333.

152. Homburg, J. A., Anthropogenic effects on soil quality of ancient agriculture systems of the American Southwest / J. A. Homburg, J. A. Sandor // Catena. 2011. – V. 85. – P. 144–154.

153. Homburg, J. A. Anthropogenic effects on soil quality of ancient agricultural systems of the American Southwest / J. A. Homburg, J. A. Sandor // Catena. – 2011. – V. 852. – P. 144–154.

154. Jiang, X. Tillage-induced changes in fungal and bacterial biomass associated with soil aggregates: A long-term field study in a subtropical rice soil in China / X. Jiang, A. L. Wright, X. Wang, F. Liang // Appl Soil Ecol. – 2011. – V. 48. – P. 168–173.

155. Joergensen, R. G. Review article: Methods for evaluating human impact on soil microorganisms based on their activity, biomass, and diversity in agriculture / R. G. Joergensen, C. Emmerling // J Plant Nutr Soil Sci. – 2006. – V. 169. – P. 295–309.

156. Kandeler, E. Temporal dynamics of microbial biomass, xylanase activity, N-mineralisation and potential nitrification in different tillage systems / E. Kandeler, K. E. Bohm // Appl Soil Ecol. – 1996. – V. 4. – P. 181–191.

157. Kandeler, E. Effect of cattle slurry in grassland on microbial biomass and on activities of various enzymes / E. Kandeler, G. Eder // Biol Fertil Soils. – 1993. – V. 16. – P. 249–254.

158. Kandeler, E. Short-term assay of urease activity using colorimetric determination of ammonium / E. Kandeler, H. Gerber // Biol Fertil Soils. – 1988. – V. 6. – P. 68–72.

159. Kandeler, E. Response of soil microbial biomass, urease and xylanase within particle size fractions to long-term soil management / E. Kandeler, M. Stemmer, E.-M. Klimanek // Biol Fertil Soils. – 1999a. – V. 31. – P. 261–273.

160. Kandeler, E. Long-term monitoring of microbial biomass, N mineralization and enzyme activities of Chernozem under different tillage management / E. Kandeler, D. Tscherko, H. Spiegel // Biol Fertil Soils. – 1999b. – V. 28. – P. 343–351.

161. Kiers, E. T. Ecology–agriculture at a crossroads / E. T. Kiers, R. R. B. Leakey, A. M. Izac, J. A. Heinemann, E. Rosenthal, D. Nathan, J. Jiggins // Science. – 2008. – V. 320. – P. 320–321.

162. Klose, S. Urease activity of microbial biomass in soils as affected by cropping systems / S. Klose, M. A. Tabatabai // Biol Fertil Soils. – 2000. – V. 31. – P. 191–199.

163. Klose, S. Urease activity of microbial biomass in soils / S. Klose, M. A. Tabatabai // Soil Biol Biochem. – 1999. – V. 31. – P. 205–211.

164. Lavahum, M. F. E. Activity and biomass of soil microorganisms at different depths / M. F. E. Lavahum, R. G. Joergensen, B. Meyer // Biol Fertil Soils. – 1996. – V. 23. – P. 38–42.

165. Lehmann, J. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments / J. Lehmann, da Silva Jr., C. Steiner, T. Hehls, W. Zech, B. Glaser // Plant and Soil. – 2003. – V. 249. – P. 343–357.

166. Liang, B. C. Management-induced changes in labile soil organic matter under continuous corn in eastern Canadian soils / B. C. Liang, A. F. MacKenzie, M. Schnitzer, C. M. Monreal, P. R. Voroney, R. P. Beyaert // Biol Fertil Soils. – 1998. – V. 26. – P. 88–94.

167. Lisetskii, F. N. Agrogenic transformation of soils in the dry steppe zone under the impact of antique and recent land management practices / F. N. Lisetskii // Eurasian Soil Sci. – 2008. – V. 8. – P. 805–817.

168. Lisetskii, F. N. Soil and landscape changes in ancient agricultural areas (exemplified by antique Olbia) / F. N. Lisetskii, M. E. Rodionova // Geogr Nat Resour – 2012. – V. 33. – P. 327–335.

169. Lisetskii, F. N. Post-agrogenic evolution of soils in ancient Greek land use areas in the Herakleian Peninsula, South-West Crimea / F. N. Lisetskii, V. F. Stolba, E. I. Ergina, M. E. Rodionova, E. A. Terekhin // The Holocene. – 2013. – V. 23. – P. 504–514.

170. Lisetskii, F. N. Indicators of agricultural soil genesis under varying conditions of land use, Steppe Crimea / F. N. Lisetskii, V. F. Stolba, O. Marinina // Geoderma. – 2015. – V. 239–240. – P. 304–316.

171. Liu, E. Long-term effect of chemical fertilizer, and manure on soil chemical and biological properties in northwest Chine / E. Liu, C. Yan, X. Mei, H. Wenqing, S. H. Bing, L. Ding, Q. Liu, S. Liu, T. Fan // Geoderma. – 2010. – V. 158. – 173–180.

172. Londono, A. C. Pattern and rate of erosion inferred from Inca agricultural terraces in arid Southern Peru / A. C. Londono // Geomorphology. – 2008. – V. 99. – P. 13–25.

173. Lorch, W. Die siedlungsgeographische phosphatmethode / W. Lorch // Die aturwissenschaften. – 1940. – V. 28. – S. 633–640.

174. Mamilov, A. S. Soil microbial eco-physiology as affected by short-term variations in environmental conditions / A. S. Mamilov, O. M. Dilly // Soil Biol Biochem. –2002. – V. 34. – P. 1283–1290.

175. Marcote, I. Influence of one or two successive annual applications of organic fertilizers on the enzyme activity of a soil under barley cultivation / I. Marcote, T. Hernandez, C. Garcia, A. Polo // Bioresource Technol. – 2001. – V. 79. – P. 147–154.

176. Marfenina, O. E. Fungal Communities in the Soils of Early Medieval Settlements in the Taiga Zone / O. E. Marfenina, A. E. Ivanova, E. E. Kislova, E. P. Zazovskaya, I. Y. Chernov, // Eurasian Soil Sci. – 2008. – V. 41. – P. 749–759.

177. Marinari, S. Chemical and biological indicators of soil quality in organic and conventional farming systems in Central Italy / S. Marinari, R. Mancinelli, E. Campiglia, S. Grego // Ecological Indicators. – 2006. – V. 6. – P. 701–711.

178. Marschner, P. Structure and function of the soil microbial community in a long-term fertilizer experiment / P. Marschner, E. Kandeler, B. Marschner // Soil Biol Biochem. – 2003. – V. 35. – P. 453–461.

179. Martens, D. A. Production and persistence of soil enzymes with repeated addition of organic residues / D. A. Martens, J. B. Johanson, W. T. Frankerberger // Soil Sci. – 1992. – V. 153. – P. 53–61.

180. McGill, W. B. Dynamics of soil microbial biomass and water-soluble organic C in Breton L after 50 years of cropping to two rotations / W. B. McGill, K. R. Cannon, J. A. Robertson, E. D. Cook // Can J Soil Sci. – 1986. – V. 66. – P. 1–19.

181. McLauchlan K. The nature and longevity of agriculture impacts on soil carbon and nutrients: a review / K. McLauchlan // Ecosystems. – 2006. – V. 9. – P. 1364–1382.

182. Melero, S. Chemical and biochemical properties of a clay soil under dryland agriculture system as affected by organic fertilization / S. Melero, E. Madejon, J. C. Ruiz, J. F. Herencia // European Journal of Agronomy. – 2007. – V. 26. – P. 327–334.

183. Mikanova, O. The effect of tillage systems on some microbial characteristics / O. Mikanova, M. Javurek, T. Simon, M. Friedlova, M. Vach // Soil Till Res. – 2009. – V. 105. – P. 72–76.

184. Mikha, M. M. Tillage and manure effects on soil and aggregate-associated carbon and nitrogen / M. M. Mikha, C. W. Rice // Soil Sci Soc Am J. – 2004. – V. 68. – P. 809–816.

185. Miller, M. Thermal stability and activities of soil enzymes as influenced by crop rotation / M. Miller, R. P. Dick // Soil Biol Biochem. – 1995. – V. 27. – P. 1161–1166.

186. Moeskops, B. Soil microbial communities and activities under intensive organic and conventional vegetable farming in West Java, Indonesia / B. Moeskops, Sukristiyonubowo, D. Buchan, S. Sleutel, L. Herawaty, E. Husen, R. Saraswati, D. Setyorini, S. de Neve // Appl Soil Ecol. – 2010. – V. 45. – P. 112–120.

187. O'Tool, P. Comparative study of urease activities in pasture and tillage soils / P. O'Tool, M. A. Morgan, S. J. A McGarry // Commun Soil Sci Plant Anal. – 1985. – V. 16. – P. 759–733.

188. Palma, R. M. Chemical and biochemical properties as potential indicators of disturbance / R. M. Palma, N. M. Arrigo, M. I. Saubidet, M. E. Conti // Biol Fertil Soils. – 2000. – V. 32. – P. 381–384.

189. Pascual, J. A. Lasting microbiological and biochemical effects of the addition of municipal solid waste to an arid soil / J. A. Pascual, C. Garcia, T. Hernandez // Biol Fertil Soils. – 1999. – V. 30. – P. 1–6.

190. Paulson, K. N. Michaelis constant of soil urease / K. N. Paulson, L. T. Kurtz // Soil Sci Soc Amer J. – 1970. – V. 34. – P. 70–72.

191. Paz-Ferreiro, J. Biochemical propierties of acid soils under native grassland in temperate humid zone / J. Paz-Ferreiro, C. Trasar-Cepeda, M. C. Leiros, S. Seoane, F. Gil-Sotres // N Z J Agric Res. – V. 50. – P. 537–548.

192. Perucci, P. Enzyme activity and microbial biomass in a field soil amended with municipal refuse / P. Perucci // Biol Fertile Soils. – 1992. – V. 14. – P. 54–60.

193. Plaza, C. Microbial activity in pig slurry-amended soils under semiarid conditions / C. Plaza, D. Hernandez, J. C. Garcia-Gil, A. Polo // Soil Biol Biochem. – 2004. – V. 36. – P. 1577–1585.

194. Rangger, A. Microbial activities and biomass along an altitudinal profile in the Northern Tyrolean limestone Alps / A. Rangger, H. Insam // Phyton (horn). – 1996. – V. 36. – P. 83–94.

195. Rasmussen, P. E. Long-term management effects on soil productivity and crop yield in semi-arid regions of eastern Oregon / P. E. Rasmussen, H. P. Collins, R. W. Smiley // Station Bulletin. – 1994. – V. 675. – 67 p.

196. Roscoe, R. Urease activity and its relation to soil organic matter, microbial biomass nitrogen and nitrogen assimilation by maize in a Brazilian Oxisol under no-tillage and tillage systems / R. Roscoe, C. A. Vasconcellos, A. E. Furtini-Neto, G. A. A. Guerdes, L. A. Fernandes // Biol Fertil Soils. – 2000. – V. 32. – P. 52–59.

197. Ruecker, G. Natural regeneration of degraded soils and site changes on abandoned agricultural terraces in Mediterranean Spain / G. Ruecker, P. Schad, M. M. Alcubilla, C. Ferrer // Land Degrad. Dev. – 1998. – V. 19. – P. 488–501.

198. Sanchez-Maranon, M. Soil quality in Mediterranean mountain environments: effects of land use change / M. Sanchez-Maranon, M. Soriano, G. Delgado, R. Delgado, // Soil Sci Soc Am J. – 2002. V. –66. – P. 948–958.

199. Sandor, J. A. Ancient agricultural soils in the Andes of southern Peru / J. A. Sandor, N. S. Eash // Soil Sci Soc Am J. – 1995. – V. 59. – P. 170–179.

200. Sandor, J. A. Ancient agricultural terraces and soils / J. A. Sandor // In: Warkentin, B. (Ed.), Footprints in the Soil: People and Ideas in Soil History. Elsevier, Amsterdam, 2006. – P. 505–534.

201. Sandor, J. A. Prehistoric agricultural terraces and soils in the Mimbres Area, New Mexico / J. A. Sandor, P. L. Gersper, J. W. Hawley // World Archaeol. – 1990. – V. 22. – P. 70–86.

202. Scalenghe, R. Pedogenesis in disturbed Alpine soils / R. Scalenghe, E. Bonifacio, L. Celi, F. C. Ugolini, E. Zanini, // Geoderma. – 2002. – V. 109. – P. 207–224.

203. Schnurer, J. Microbial biomass and activity in an agricultural soil with different organic matter contents / J. Schnurer, M. Clarholm, T. Rosswall // Soil Biol Biochem. – 1985. – V. 17. – P. 611–618.

204. Schnurer, J. Microbial biomass and activity in an agricultural soil with different organic matter contents / J. Schnurer, M. Clarholm, T. Rosswall // Soil Biol. Biochem. – 1985. – V. 17. – P. 611–618.

205. Springob, G. C-rich sandy Ap horizons of specific historical land-use contain large fractions of refractory organic matter / G. Springob, H. Kirchmann // Soil Biol Biochem. – 2002. – V. 34. – P. 1571–1581.

206. van der Wal, A. Fungal biomass development in a chronosequence of land abandonment / A. van der Wal, J. A. van Veen, W. Smant, H. T. S. Boschker, J. Bloem, P. Kardol, W.H. van der Putten, W. de Boer // Soil Biol Biochem. – 2006. – V. 38. – P. 51–60.

207. Wardle, D. A. Changes in the microbial biomass and metabolic quotient during leaf litter succession in some New Zealand forest and scrubland ecosystems / D. A. Wardle // Functional Ecology. – 1993. – V. 7. – P. 346–355.

208. Wardle, D. A. Impacts of disturbance on detritus food webs in agroecosystems of contrasting tillage and weed management practices / D. A. Wardle // Advances in Ecological Research. – 1995. – V. 26. – P. 105–185.

209. Wardle, D. A critique of the microbial metabolic quotient (qCO_2) as a bioindicator of disturbance and ecosystem development / D. A. Wardle, A. Ghani // Soil Biol Biochem. – 1995. – V. 27. – P. 1601–1610.

210. Wilkinson, K. Environmental archaeology. Approaches, techniques, applications / K. Wilkinson, C. Stevens. – Tempus, 2008. – 314 p.

211. Wilkinson, T. J. The definition of ancient manured zones by means of extensive shred-sampling techniques / T. J. Wilkinson // J Field Archaeol. – 1982. – V. 9. – P. 323–333.

212. Zarnoza, R. Changes in soil microbial community structure following the abandonment of agricultural terraces in mountainous areas of Eastern Spain / R. Zarnoza, C. Guerrero, J. Mataix-Solera, K. M. Scow, V. Arcenegui, J. Mataix-Beneyto // Appl Soil Ecol. – 2009. – V. 42. – P. 315–323.