

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Уральский государственный университет им. А.М. Горького»

ИОНЦ «ЭКОЛОГИЯ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ»

БИОЛОГИЧЕСКИЙ факультет

кафедра ЭКОЛОГИИ

МОНИТОРИНГ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

Учебно-методическое пособие

Подпись руководителя ИОНЦ

Дата

Екатеринбург
2007

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время на кафедре экологии Уральского государственного университета усовершенствуется основная базовая программа для студентов, магистрантов и аспирантов по специальностям “экология” и “биология”, в рамках которых планируется чтение новых курсов, в том числе и “Мониторинг нарушенных земель”.

Необходимость такого курса обусловлена огромной ролью почв на Земле и постоянным ухудшением их состояния в результате антропогенной и техногенной деятельности. Сотрудники кафедры в течение многих лет занимаются изучением техногенного и антропогенного воздействия на почвы Урала и Западной Сибири. Актуальность проблемы, как нам кажется, доказательств не требует.

С древнейших времен человек активно изменял окружающую среду для своего существования. Антропогенные воздействия на среду были несравненно слабее современных, но все же они имели место, а их последствия наблюдаются спустя многие сотни и тысячи лет. И, в первую очередь, последствия негативного влияния человека на природу отразились на важнейшем и наиболее стабильном ее компоненте – почвах, которые В.В. Докучаев назвал “зеркалом природы”.

Лев Гумилев пишет по этому поводу: “Не следует думать, что где-нибудь есть девственные земли, куда не ступала нога человека. Нынешние пустыни и дебри наполнены следами палеолитических стоянок, леса Амазонки растут на переотложенных почвах, некогда разрушенных земледелием древних обитателей... Иными словами, за период своего существования вид *Homo sapiens* неоднократно и постоянно мог дифференцировать свое распространение на поверхности Земли...” (Гумилев, 1993).

В последние десятилетия происходит значительное усиление техногенной деградации естественных экосистем, которая сопровождается изменениями и разрушением почв, а вместе с тем трансформацией или потерей вы-

полняемых ими биосферных и биогеоценотических функций, что может привести к труднопрогнозируемым последствиям (Добровольский, Никитин, 1990, 2000; Соколов, 2004 и др.). Почвы, внося немаловажный вклад в поддержание гомеостаза планеты, являются, в то же время, наиболее трудно-возобновимым ресурсом. Проблема сохранения и восстановления почв, подвергающихся все большей антропогенной нагрузке, является на сегодня одной из приоритетных в рамках защиты окружающей среды.

Чтобы оценить масштабы и спрогнозировать последствия таких изменений, зачастую необходимо изучать процессы реставрации или восстановления природных экосистем как в целом, так и отдельных их компонентов. Среди компонентов экосистем почвенная составляющая является одной из наиболее важных, будучи связующим звеном их функционирования. В зависимости от способности почв восстанавливать свой исходный облик, и, следовательно, выполнять свои функции, будет зависеть и регенерационная способность экосистем в целом.

Для изучения регенерационной способности почв за длительные промежутки времени наиболее подходящими оказались археологические памятники. Наши предки дали начало уникальному природному эксперименту, длящемуся уже несколько сотен и даже тысяч лет, позволяющему определить скорость и особенности восстановления почв, что имеет большое значение как для теоретического почвоведения, так и для экологических исследований.

В данном учебном пособии “Мониторинг нарушенных земель” излагаются основные представления о нарушениях почвенного покрова и их последствиях через значительные промежутки времени (тысячи лет), что может помочь в подготовке специалистов-экологов.

Выражаем признательность за неоценимую помощь в процессе подготовки работы, за общее благожелательное отношение и всестороннее содействие всему коллективу Зауральской лесостепной археологической экспеди-

ции во главе с доктором исторических наук, профессором Уральского государственного университета Л.Н. Коряковой. Выражаем искреннюю благодарность коллективу объединенной археологической экспедиции Института проблем освоения Севера и Тюменского государственного университета (руководители – доктора исторических наук, профессор Н.П. Матвеева и А.В. Матвеев), а также старшему научному сотруднику Института экологии растений и животных УрО РАН, кандидату биологических наук П.А. Косинцеву, доктору Б. Хэнксы (University of Pittsburgh) и многим другим.

Глава 1.

Современные проблемы мониторинга нарушенных земель.

1.1. Роль почв в биосфере, экологические функции почв.

ЗНАЧЕНИЕ ПОЧВ В РАЗВИТИИ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА

Трудно переоценить роль почв в развитии и становлении человеческого общества, в первую очередь – в их сельскохозяйственном значении. Справедливо считается, что именно переход от охотничье-промыслового к скотоводческому типу хозяйствования, и далее – к оседлому земледелию знаменовал в развитии человечества качественно новую эпоху.

Человек издавна ценил и обожествлял почвы, рассматривая их как один из важнейших объектов поклонения наряду с водой, воздухом и огнем. Представление о земле как о матери-кормилице входило в религиозную систему почти всех народов, практически во всех из которых были свои боги земли и плодородия: у египтян – Исида, у вавилонян – Инанна, у шумеров – Ки, у греков – Деметра, у славян – Мокош. В религиозных представлениях люди создавались богами по своему образу и подобию из почвы, грязи, глины: древние наделяли таким образом почвы самым важным их свойством – плодородием.

Древнегреческий философ Ксенофан (VI – V вв. до н.э.) писал, что "все возникло из почвы и в нее все обратится в конце концов". На этом основан и обычай погребения людей в почву. Поскольку на почвах ежегодно появляются вновь растения, люди надеялись на возрождение умерших и в места их погребения помещали предметы первой необходимости.

Развитие земледелия повлекло за собой накопление знаний о почвах, потребовало от древних земледельцев умения их различать и оценивать. Таким образом, изначально интерес к почвам был в первую очередь сельскохозяйственный, а первым методом изучения почв был метод наблюдения, как наблюдение за явлениями природы.

В древний период были накоплены определенные агрономические знания о почвах, их свойствах, их пригодности для выращивания тех или иных культур. В дальнейшем интерес к почвенным объектам проявился со стороны многих наук: химии, геологии, биологии, экономики, что, в свою очередь, способствовало дальнейшему развитию знаний о почвах. Однако как таковой науки о почвах еще не существовало.

Возникновение почвоведения как науки связано с именем великого русского естествоиспытателя В.В. Докучаева и его последователей. Докучаев в противовес агрономическому и агрогеологическому пониманию почв впервые представил их как особые естественноисторические тела природы со своими законами развития, выделив тем самым почвоведение в самостоятельную науку со своим объектом и методами наблюдений.

Убедительно показав связь свойств почв с пятью факторами почвообразования (климатом, материнской горной породой, рельефом, живыми организмами и временем), В.В. Докучаев впервые сформировал естественнонаучный системный подход к изучению явлений природы. Именно этот целостный подход предопределил создание В.И. Вернадским учения о биосфере.

Связь почвоведения с другими науками привела к формированию отдельных направлений: химии почв, физики почв, биологии почв и др. Был накоплен огромный фактический материал, показавший определяющее влияние почвенного покрова на формирование и функционирование всех сопредельных компонентов биосферы.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ ПОЧВ

В настоящее время трудами ряда ведущих отечественных почвоведов (В.А. Ковдой, Р.В. Волобуевым, Г.В. Добровольским, Е.Д. Никитиным, С.В. Зонном, Л.И. Карпачевским и др.) разработано учение об экологических функциях почв, показавшее многофункциональность почв в биосфере и не

сводящиеся к упрощенной трактовке почв не только как объекта хозяйственного использования.

Учение об экологических функциях почв (Никитин, 1977, 1982; Добровольский, Никитин, 1986, 1990, 2000, 2006) обобщает огромный фактический и теоретический материал, накопленный специалистами-почвоведомы разного профиля. На основе учения о биогеоценозах экологические функции почв были разделены на *глобальные* и *биогеоценозические*, а уже на основе учения об их экологических функциях предложены научные основы сохранения и рационального использования почв.

БИОГЕОЦЕНОТИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ ПОЧВ

Биогеоценозические функции, в свою очередь, разделены на следующие группы: *физические, химические и биогеохимические, физико-механические, информационные и целостные* функции (рис. 1.1).



Рис. 1.1. Биогеоценозические функции почв (по Добровольскому, Никитину, 1990).

Уже рассматривая первую функцию – *жизненное пространство*, авторами была показана исключительная важность почв для всех живых организмов суши, что было наглядно продемонстрировано на примере численности и биомассы микроорганизмов в почве. Но в почве проживают и другие, более крупные организмы. Это связано с тем, что почвы, хотя и твердые тела, имеют поры и полости различной формы и диаметра. Таким образом созданы экологические ниши, пригодные для организмов разного размера: почвы оказываются природными телами с максимальной плотностью жизни и с наибольшим биоразнообразием.

Почвы являются *жилищем и убежищем* для многих организмов, предохраняя их от переохлаждения и перегрева, уберегая от хищников, обеспечивая их пищей, являясь местом выращивания потомства. "Почва (четвертое царство по В.В. Докучаеву) может быть сравнима с густонаселенным подземным городом, где проживают и постоянные его обитатели, и те, кто трудится в загородной зоне (добывает пищу на поверхности земли), и те, кто находится в почве лишь ограниченный срок, являясь, по существу гостем" (Добровольский, Никитин, 2006).

Благодаря *опорной функции* почв живые организмы (как животные, так и растения) могут сохранять вертикальное положение. Кроме того, механическая прочность почв влияет на устройство животными своих нор и, следовательно, определяет расселение почвенных обитателей.

Почвы обладают удивительной способностью на протяжении длительного времени (многие месяцы и годы) сохранять в жизнеспособном состоянии семена растений, с чем связано выделение еще одной функции – *депо семян и других зачатков*. При подходящих условиях такие зачатки и семена могут быстро переходить в активное состояние. Эта особая роль почвы как среды для сохранения и накопления семенных зачатков еще недостаточно хорошо изучена, хотя очевидно, что она может помочь нам в более полной мере понять функционирование наземных экосистем нашей планеты. Таким

образом, оценив только четыре вышеперечисленные функции, уже можно видеть огромное значение почв в жизни биогеоценозов суши. Почвы играют во многом определяющую роль в функционировании всех биогеоценозов суши и было бы неправильным ограничивать их роль только лишь в сельском хозяйстве.

Всем известно, что почва является *источником макро- и микроэлементов для питания растений*. Это одна из важнейших функций почв и ей уделяется огромное внимание, особенно в агрохимических исследованиях. Наибольший урожай получается при достаточном количестве в почвах элементов питания в доступной для растений форме и при благоприятном их соотношении.

В природных экосистемах в результате длительного сосуществования разных видов растений, произошла "подгонка" определенных сообществ растений и почв. Это отражается, например, в разной глубине распределения корневых систем определенных видов, изымающих элементы питания из разных почвенных горизонтов.

Необходимые растениям элементы находятся в почвах не только в доступных (растворимых) формах, но и входят в состав минералов в кристаллической форме – таким образом они составляют *депо элементов питания*, из которых при разрушении минералов формируются доступные растениям запасы элементов.

Из физико-химических свойств особое значение имеет *функция сорбции тонкодисперсного вещества*, поступающего с пылью из атмосферы, с водными потоками и с растительным опадом. Почвы обладают огромной суммарной поверхностью составляющих их частиц, при этом удельная поверхность увеличивается с уменьшением размеров почвенных частиц и для илистых частиц может достигать 180 - 300 м²/г почвы в зависимости от минерального состава (Вадюнина, Корчагина, 1986). На этой огромной актив-

ной поверхности происходит сорбция поступающих на поверхность почвы частиц.

Сорбированные элементы на поверхности почвенных частиц чаще всего находятся в обменном состоянии и доступны для питания растений. Однако способность почв поглощать поступающие в них вещества может приводить и к отрицательным последствиям в случае загрязнения почв тяжелыми металлами, ядовитыми химикатами и другими отравляющими соединениями. Особенно опасно загрязнение почв радиоактивными веществами. Почвы сорбируют и микроорганизмов, для которых почва является жизненным пространством, жилищем и убежищем, а также источником элементов питания. Их жизнь целиком зависит от почв.

Многие меняющиеся почвенные свойства служат *информаторами* для живых организмов: изменения температуры почвы или ее влажности определяют ход физиологических процессов, служат сигналом для развития семян, для регуляции численности микроорганизмов и других процессов. Изменение свойств почв может определять и сукцессионные процессы.

Особенно важная информация заключается в почвенных профилях так как формирование совокупности взаимодействия горизонтов является следствием определенных условий окружающей среды. Считается, что почва является памятью ландшафта (Арманд, 1975). В почвах отражаются длительно протекающие почвенные процессы. Скорость формирования определенных частных процессов различно и для них введено понятие "характерное время". При негативных изменениях окружающей среды происходит формирование новых почвенных качеств и частичная утрата прежних, что усложняет строение почвенного профиля и затрудняет расшифровку заключенной в нем информации.

Все почвы по своему составу отличаются от почвообразующих пород иным соотношением химических элементов и накоплением новых (углерод, азот). Эти изменения являются следствием геохимической работы живых ор-

ганизмов. Накопление в почвах органических соединений обогащает почву свободной энергией, которая выделяется в почвах в тепловой и химической формах.

Все почвы осуществляют санитарную функцию, проявляющуюся в разложении поступающих в них органических веществ, что высвобождает заключенные в них элементы для нового использования. Кроме того, в незагрязненных почвах содержится малое количество микроорганизмов, способных привести к возникновению заболеваний человека, животных, растений. Внесение в почвы не обезвреженных органических удобрений может привести к вспышке различных инфекционных заболеваний. Но длительность существования большинства патогенных микроорганизмов в почвах – не более одного года (за редкими исключениями, как, например, сибирская язва – более 30 лет в скотомогильниках).

Еще одна важная форма проявления санитарной функции – разрушение и последующая минерализация микроорганизмами продуктов обмена живых организмов.

ГЛОБАЛЬНЫЕ ФУНКЦИИ ПОЧВ

Почвенный покров тесно связан с основными географическими оболочками: *литосферой, гидросферой, атмосферой*. Глобальные функции почв приведены на рисунке 1.2.



Рис. 1.2. Глобальные функции почв (по Добровольскому, Никитину, 1990).

Почвы выполняют важные *литосферные* функции. В них образуются специфические и неспецифические органические вещества – гумусовые кислоты и продукты жизнедеятельности живых организмов, которые оказывают растворяющее действие на основания, составляющие литосферу, делая их более подвижными. В результате важнейшие элементы питания, ранее находящиеся в связанном состоянии в кристаллических решетках, становятся доступными для растений.

Почвенное выветривание, кроме того, приводит к резкому увеличению удельной поверхности почвообразующих пород. Так, если 1 м³ плотной породы имеет удельную поверхность 6 м², то 1 м³ суглинка – уже 10 000 м² (Добровольский, Никитин, 1986), что увеличивает многократно возможность поглощения газов, паров, воды и химических элементов. В результате в почвах формируется почвенный поглощающий комплекс, имеющий важное значение в жизни растений.

Во всех процессах взаимодействия почв и литосферы происходит не только разрушение первичных минералов, но и синтез новых, вторичных. При этом в поверхностной зоне литогенеза образуется кора выветривания, обладающая новыми свойствами, более благоприятными для живых организмов. В результате выветривания при определенных условиях происходит образование различных рудных месторождений (железные, медные, марганцевые и другие руды, а также самородные металлы). Накопление органического вещества может привести к образованию месторождений торфа и угля, возможно также, что нефть и природный газ своим происхождением также обязаны почве.

Вторичные минералы характеризуются большим запасом энергии, первоначально полученной в процессе фотосинтеза. Этот запас энергии во вторичных минералах является, по мнению Н.В. Белова и В.И. Лебедева (1957), важной частью в энергетике Земли наряду с другими видами энергии (тепло радиоактивного распада). Почвы поглощают газы атмосферы и передают их в недра Земли: CO_2 (в виде органики), Fe_2O_3 , MnO_2 , SO_4 , N и другие, выделяя их затем в геохимических процессах. По мнению многих ученых "жизнь на Земле... возможна лишь до тех пор, пока происходит обмен энергией и веществом между недрами и поверхностью" (Добровольский, Некрасов, 2006).

Почва оказывает большое влияние и на *гидросферу*, участвуя в трансформации поверхностных вод в грунтовые, в формировании речного стока, стока в озера и водохранилища, в балансе подземных вод: определяет процессы испарения с поверхности суши – таким образом, почвы принимают участие в формировании водного баланса Земли.

Почвы оказывают влияние и на биопродуктивность водоемов: атмосферные осадки, фильтруясь через почвы, изменяют свой химический состав в зависимости от свойств почв и почвообразующих пород. В дальнейшем эти растворы в форме поверхностных и грунтовых вод, попадая в реки, моря и океаны, приносят в них биофильные макро- и микроэлементы, органические

соединения (в том числе гумусовые кислоты). Ежегодный ионный сток в Мировой океан при участии почвенных соединений составляет порядка $3 \cdot 10^9$ т солей.

Элементы и соединения с континентов интенсивно вовлекаются в продукционный процесс водных экосистем и в биогеохимические циклы. Часть же растворенных соединений может закрепляться в почве в силу громадной поглотительной способности почв и тем самым снижать поступление в водоемы вредных или избыточных соединений. В этом случае почва выступает в качестве защитного барьера. Это свойство почв имеет особенно большое значение при значительных антропогенных нагрузках на экосистемы.

Невозможно переоценить и *атмосферные функции* почв. Почва и атмосфера взаимосвязаны через газообразную фазу почвы (подземную атмосферу), через попадающие в атмосферу твердые вещества и микроорганизмы, через поглощение и отражение почвой солнечной радиации.

Почвы участвуют в регулировании газового режима биосферы. Огромна роль почв в консервации недоокислившейся органики в виде гумусовых веществ, горючих полезных ископаемых: торфа, угля, нефти, газа. Только таким путем стало возможно извлечение из атмосферы избыточного количества углекислого газа, и это привело к формированию кислородсодержащей атмосферы. Все процессы поглощения вещества и энергии почвами и последующая передача их вглубь планеты, а затем возврат их в атмосферу, поддерживают жизнь на Земле.

Почвы выполняют и *общебиосферные функции*. Так, почвы являются средой для обитания организмов суши. Биомасса живых организмов суши значительно превышает биомассу океана. Кроме того, почвы аккумулируют и являются источником вещества и энергии для организмов суши. Они являются связующим звеном биологического и геологического круговоротов, защитным барьером и условием нормального функционирования биосферы.

Почвы участвуют в эволюции организмов. В прессе освоения живыми организмами суши почвы оказались промежуточной средой, через которую стал возможным постепенный переход от водного образа жизни к наземному без резкого изменения организации живого. Разнообразие ландшафтов и почв оказывает влияние на этническую мозаичность антропосферы и на ее жизнь.

Подводя итог рассмотрению глобальных функций почв, необходимо отметить, что главная глобальная биосферная функция почв – обеспечение жизни на Земле (Соколов, 2004).

АНТРОПОГЕННЫЕ НАРУШЕНИЯ ГЛОБАЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ ПОЧВ

Антропогенные нарушения гидросферных функций почв. В настоящее время происходит существенная трансформация почвенных функций в гидросфере. Главная причина – техногенное и сельскохозяйственное загрязнение почв. Соединения (ядохимикаты, удобрения, тяжёлые металлы, вынесенные) из почвы и сельхозугодий и поступающие в водоёмы из освоенных почв, загрязняют их и часто негативно воздействуют на их биологическую продуктивность. При этом происходит эвтрофикация водоёмов. Загрязняются не только поверхностные, но и грунтовые воды.

Изменение функций почв как регулятора водного баланса обостряет существующую уже на сегодня проблему ограниченности ресурсов пресных вод.

Антропогенные изменения атмосферных функций почв. Многие глобальные изменения в атмосфере и климате последнего времени являются в первую очередь следствием деградационных изменений в почвенном покрове. Распашка земель, эрозионные процессы в почве приводят к ускоренному окислению гумуса и к потере почвами связанного углерода, который идёт на увеличение его содержания в атмосфере. По разным данным, в результате деятельности человека, почвы уже потеряли примерно 40 % связанного углерода. Увеличение количества углерода и других газов в атмосфере,

в свою очередь, вызывает парниковый эффект. Кроме углерода за возникновение парникового эффекта ответственны также и твёрдые частицы, рассеянные в атмосфере. Их количество также увеличивается в связи с эрозией почв.

Широкомасштабные осушительные и мелиоративные мероприятия влияют на режим влагооборота в атмосфере.

Антропогенные нарушения литосферных функций почв. В настоящее время происходит нарушение связывания CO_2 атмосферы почвой и прекращение его передачи в литосферу. Эрозия почвенной оболочки неизбежно ведёт к эрозии верхних слоёв литосферы.

Антропогенные изменения общебиосферных функций. В настоящее время серьезные опасения вызывают следующие антропогенные и техногенные изменения общебиосферных функций почв: изменение в соотношении круговоротов вещества в сторону усиления геологического круговорота и ослабления биологического; сокращение жизненного пространства для организмов суши; изменение типов ландшафтов – исчезновение естественных и появление антропогенных (урбанизированных, аграрных и др.); ослабление вклада почвы в эволюцию видов; исчезновение многих редких видов в связи с деградацией условий мест обитания → уменьшение генофонда наземных популяций.

Итак, почвы – это незаменимый и важнейший компонент биосферы и антропосферы. Среди множества функций почвы можно выделить глобальные, определяющие облик планеты и осуществляющие поддержание гомеостаза Земли; и биогеоценотические, определяющие функционирование наземных экосистем. Антропогенная деятельность приводит к изменению почвенных функций, что может привести (и уже при-

водит) к неоднозначным последствиям как глобального, так и регионального масштаба.

Рекомендуемая литература

Добровольский Г.В. Функции почв в биосфере и экосистемах / Г.В. Добровольский, Е.Д. Никитин. – М. : Наука, 1990. – 270 с.

Добровольский Г.В. Сохранение почв как незаменимого компонента биосферы / Г.В. Добровольский, Е.Д. Никитин. – М. : Наука, 2000. – 185 с.

Соколов И.А. Теоретические проблемы генетического почвоведения / И.А. Соколов. – Новосибирск : Гуманитарные технологии, 2004. – 288 с.

1.2. Основные виды деградации почв

ПОНЯТИЕ О ДЕГРАДАЦИИ ПОЧВ

Деградация почв (от лат. degradatio – снижение) – постепенное ухудшение и утрата плодородия почв в результате уменьшения содержания питательных веществ, снижения содержания и запасов гумуса, разрушения структуры, изменения других физических и химических свойств.

Деградация почв может быть вызвана только природными процессами, без вмешательства человека, в естественных условиях бывает при заболачивании, усыхании лугов, наступлении солончаков и других природных процессов. Но в настоящее время она достигла огромных масштабов именно за счет интенсивной антропогенной и техногенной деятельности. В этом случае говорят об *антропогенной деградации почв*.

Антропогенная деградация почв – это необратимые антропогенные изменения физических, химических, биологических свойств почв, которые ведут к невозможности выполнения в полной мере почвами их экологических функций. Так как функции почв уникальны, антропогенная деградация почв ведет к частичной деградации биосферы.

В случае необратимых нарушений почвенного покрова в результате промышленной деятельности речь будет идти уже о *техногенной деградации почв*.

ОСНОВНЫЕ ФОРМЫ ДЕГРАДАЦИИ ПОЧВ

Формы деградации почв очень многообразны, число их с развитием научно-технического прогресса растет, что связано с нарушением естествен-

ного хода почвообразовательных процессов в результате сведения лесов и другой природной растительности, распашки земель, усилением интенсивности их обработки и различного рода воздействий – химического и физико-химического (внесение минеральных удобрений, пестицидов, загрязнения токсическими веществами от промышленных объектов, от транспорта и др.); физического (переуплотнение почв при машинной обработке тяжелыми орудиями при планировке поверхности, разрушение структуры, снижение водо- и воздухопроницаемости, эрозия, дефляция, опустынивание и др.); биологического воздействия (нарушение сложившихся биоценозов и условий их самовоспроизводства, стерилизация почв при пожарах, пропитке нефтепродуктами и другими ядовитыми для биоты веществами, стимулирование развития вредных организмов, выделяющих токсические для растений вещества, потеря гумуса и ухудшения водного и солевого режима почв в связи с изменением гидрогеологических условий при водохозяйственном и других видах строительства, нарушающих структуру водных потоков, водный и солевой баланс почв разных элементов ландшафта и частей бассейнов рек.

Среди всего этого огромного разнообразия форм деградации почв целесообразно выделить следующие основные их виды и причины (По Мотузовой, 2001):

- водная эрозия (смыв)
- ветровая эрозия (дефляция),
- истощение основных элементов питания,
- потеря гумуса (дегумификация),
- избыточная кислотность,
- опустынивание,
- загрязнение,
- подтопление (переувлажнение),
- переуплотнение, разрушение структуры почв.

Доминирующей причиной деградации почв во всем мире являются *эрозионные процессы*. В последующих разделах водная и ветровая эрозия будут нами рассмотрены более подробно.

Переуплотнение почв – распространенная форма деградации сельскохозяйственных полей под действием тяжелой техники, пастбищ, урбанизированных почв. К переуплотнению наиболее склонны неструктурированные почвы тяжелого механического состава, а также почвы, содержащие небольшое количество органического вещества.

Увеличение плотности ведет не только к значительному снижению урожайности сельскохозяйственных культур, но и ко многим другим отрицательным последствиям как для человека, так и для биоты и биосферы в целом. Уменьшение порозности, переувлажнение таких почв, недостаточная аэрация корнеобитаемого слоя, слитизация ведут к невозможности выполнения многих экологических функций почв, перечисленных выше.

Переуплотнение нередко сопровождается *переувлажнением*. Переувлажнение может быть связано как напрямую с ирригационно-мелиоративными мероприятиями и орошением почв, так и косвенно – через переуплотнение почв, нарушение их структурной целостности, а в районах с многолетней мерзлотой – в связи с вытаиванием таких почв.

Опустынивание становится основной проблемой для аридных и семиаридных областей, где главными факторами этого процесса становятся перевыпас скота, сведение лесов, чрезмерное отчуждение биомассы, несоответствие сельскохозяйственного использования территории ее климатическим особенностям и другие факторы. Опустынивание тесно связано с дефляцией (ветровой эрозией) и проявляется зачастую даже в районах далеких от аридных областей – в почвах с малой мощностью органогенных горизонтов на легких по механическому составу породах. Влияют на усиление опустынивания как природные факторы (периодически повторяющиеся засухи, частые суховеи, малое количество осадков), так и существующие технологические

системы. В настоящее время очень широко вошло в обиход и понятие техногенной пустыни.

Дегумификация – процесс уменьшения в почвах содержания и запасов гумуса. К дегумификации приводят, в первую очередь, уничтожение естественной растительности и распашка целинных земель. Так, в результате распашки и связанной с ней минерализацией гумуса его запасы снижаются в почве в течение нескольких первых лет на 22 % от исходного количества на целине (по Ахтырцеву Б.П., Ахтырцеву А.Б., 2007). В дальнейшем, при использовании правильных сельскохозяйственных технологий, гумусное состояние распахиваемых почв несколько стабилизируется.

По некоторым данным (Розанов, 1990), за 10 тысяч лет почвенный покров мира потерял 253 миллиарда тонн органического углерода вследствие антропогенного воздействия, и 60 миллиардов тонн – за счет минерализации гумуса распахиваемых территорий, что составляет 16 % от исходных запасов. Из них львиная доля приходится на последние десятилетия.

Дегумификация почв опасна как локальном масштабе (вследствие уменьшения запасов доступных для растений элементов питания, потери структуры и других отрицательных последствий), так и в глобальном: этот процесс неизбежно сопровождается увеличением содержания CO_2 в атмосфере, что связано с увеличением парникового эффекта на планете и развитием других, зачастую самых непредсказуемых экологических последствий.

Процессы дегумификации приобрели поистине глобальный масштаб для наиболее ценных (как в биогеоценотическом, так и в хозяйственном отношении) черноземных почв: так, только за счет минерализации углерода в результате распашки за 100 лет после Докучаева черноземные почвы Центрально-черноземной области России потеряли по разным оценкам от 17 % до 69 % гумуса в процессе минерализации углерода, что составляет в абсолютных величинах от 51 до 270 т/га (Русский чернозем..., 1983; Щербаков, 1983), при этом среднее содержание гумуса в пахотном горизонте уменьши-

лось с 8 до 5 % (Чуйко и др., 1983). Черноземные почвы Украины за тот же срок потеряли от 25 до 43 % гумуса (Деревянко и др., 1983), Молдавии – в среднем 25 % (Крупенников, 1983), содержание гумуса в черноземных почвах Поволжья и Предуралья уменьшилось с 7 - 16 до 4 - 7 % (Русский чернозем..., 1983). При этом ухудшаются и качественные характеристики гумуса. Так, происходит смещение состава гумуса в сторону лабильных составляющих; формируются т.н. антропосоли (anthrosols: Duchaufour, 2001).

По усредненным оценкам, при сельскохозяйственном использовании степных почв может минерализоваться до 100 т/га гумуса в слое 0-100 см за несколько десятилетий (Коковина, 1984) – т.е. то количество, которое было накоплено почвами в течение нескольких тысяч лет. При этом современные агроценозы содержат в 2 - 3 раза меньшие запасы гумуса, чем целинные степные почвы, приближаясь по этому показателю к почвам влажных тропических лесов (Jurin, 1996). Процесс деградации черноземов еще более увеличивается за счет склоновых процессов в результате эрозии, в процессе чего они дополнительно могут терять до 14,2 % гумуса за 20 - 30 лет (Ахтырцев, Соловиненко, 1983). Приведенные цифры лишь поверхностно позволяют оценить все последствия “окультуривания” черноземов.

Потеря элементов питания почвами может являться следствием многих факторов: выносом их с урожаем, дегумификацией и со связанной с ней уменьшением емкости поглощения почв, с поверхностной эрозией, с изменением физических и химических параметров почв. Главным следствием уменьшения доступных растениям элементов питания становится снижение продуктивности агроценозов, что на сегодня является наиболее серьезной проблемой сельского хозяйства. Низкая обеспеченность сельскохозяйственных земель основными элементами питания отмечена для большинства пахотных почв как нашей страны, так и всего мира. Основной дефицит наблюдается в обеспеченности почв фосфором, калием, азотом. Наряду с макро-

элементами наблюдается недостаток и микроэлементов: цинка, кобальта, меди, марганца, бора, молибдена и некоторых других.

Загрязнение почв – другая сторона обеспеченности почв химическими элементами. Это один из наиболее опасных видов деградации почвенного покрова планеты, наблюдающийся в современную эпоху в поистине глобальных масштабах.

Говоря о деградации почв, необходимо упомянуть и о почворазрушающих процессах.

ПРИРОДНЫЕ И АНТРОПОГЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ, ВЫЗЫВАЮЩИЕ ЭРОЗИЮ И ДЕГРАДАЦИЮ ПОЧВ

Как уже говорилось выше, антропогенный фактор привел к значительному увеличению масштабов и скорости деградации почв, но эрозия почв существовала и до появления человека. Классификация природных процессов вызывающих деградацию почв, предложенная М.Н. Заславским (1983), позволяет в какой-то степени отделить друг от друга антропогенный и природный факторы. Она основана на возможностях человека управлять этими процессами. В соответствии с этой классификацией процессы, приводящие к деградации почв, можно объединить в четыре группы:

- процессы, проявление которых не может быть предотвращено человеком (тектонические движения земной коры, землетрясения, извержения вулканов, ураганные ветры и т.д.);

- процессы, интенсивность проявления которых в большей или меньшей степени определяется антропогенным фактором (снежные лавины, оползни, осыпи, сели и др.);

- процессы, вызванные антропогенным фактором (антропогенный термокарст, вторичное засоление почв, переосушивание торфяников);

- антропогенные процессы, вызванные единственно в результате деятельности человека (деградация почвенного покрова при эксплуатации месторождений полезных ископаемых, при лесозаготовках, при проведении изыскательских и геологоразведочных работ и др.).

Эрозия почв в данной классификации является следствие процессов, входящих во все четыре группы. Ниже будет дана краткая характеристика собственно почворазрушающим процессам (по Заславскому, 1983).

Карст. Он возникает в водорастворимых горных породах (известняки, доломиты, мел, гипс, каменная соль) и связан с химическим процессом их растворения. Талые и дождевые воды, стекая по трещинам в карстующихся породах, разъедают их стенки, образуя систему гребней, карстовых воронок, колодцев, полостей. Карстовые явления приводят к изменению рельефа в направлении увеличения его эрозионной опасности, способствуют проявлению линейной эрозии, ухудшают условия сельскохозяйственного использования земель, приводят к появлению бросовых земель.

Суффозия – вынос мелких частиц и растворенных веществ водой, фильтрующейся в почвенной и подпочвенной толще, иногда ее называют суффозионной эрозией. Суффозия ведет к образованию на поверхности просадочных впадин – блюдца, а также воронок. Она создает на сельскохозяйственных землях неблагоприятный микрорельеф, увеличивает потенциальную опасность эрозии и часто способствует интенсивному росту оврагов.

Просадки – результат усадки сухих пористых пород при их очаговом насыщении водой. Этот процесс иногда называют просадочной эрозией. Известно, что лессы при смачивании значительно уплотняются. В результате образуются просадки, похожие на карстовые и суффозионные формы. В орошаемых районах просадки часто появляются при поливах. Возделываемые культуры в просадочных понижениях обычно погибают от затопления и переувлажнения.

Оползни – это скользящее смещение почвы и подпочвенной толщи на склонах, сложенных чередующимися горизонтами водоносных и водоупорных пород. Водоупорный горизонт, чаще всего глина, служит поверхностью скольжения, по которой блок пород вместе с почвой сползает вниз по склону. В большинстве случаев оползни развиты на склонах круче 10° .

Оползни часто возникают при подмыве берегов рек боковой речной эрозией, а также берегов водохранилищ, озер и морей при абразии. Громадные оползни смещают сотни тысяч и миллионы кубометров почвы и подпочвы. Развитию оползней нередко способствует хозяйственная деятельность человека, связанная с искусственной подрезкой склонов, созданием дополнительных нагрузок на склоны при возведении сооружений и т. д.

Обвалы – отрыв и опрокидывание больших масс горных пород, сорвавшихся с крутых склонов под влиянием силы тяжести. Иногда этот процесс называют обвальной эрозией. Отрыв горных пород (с поверхностным почвенным слоем или без него) обычно наблюдается на склонах крутизной больше угла естественного откоса. Это явление происходит или в связи с выветриванием пород, или при потере породами опоры в результате речной эрозии и абразии, а также при проявлении тектонических процессов. Иногда объем обвалов (особенно при землетрясениях) измеряется сотнями тысяч и миллионами кубометров. Обвалы вызываются и различными антропогенными факторами. Они играют немалую роль в процессах денудации.

Обвалы приводят к разрушению больших земляных массивов, к погребению под продуктами разрушения значительных площадей почв в долинах, образованию эрозионноопасных земель, изменению гидрологических и гидрогеологических условий территории, способствуют проявлению других почвообразующих процессов.

Осыпи – это скопление несортированных угловатых обломков горных пород у основания и в нижней части крутых горных склонов. Они образуются в результате выветривания горных пород и скатывания обломков вниз по

склону. Этот процесс иногда называют осыпной эрозией. Движение осыпи может усиливаться под влиянием землетрясений, ливней, перемещения осыпанного материала селями и другими агентами денудации. Под осыпями погребаются большие площади плодородных почв. Иногда осыпи содержат большое количество песчаных, пылеватых и глинистых фракций и тогда они особенно сильно подвергаются эрозии при стоке талых и ливневых вод.

Сели - кратковременные бурные потоки с большой концентрацией наносов в воде, возникающие в долинах горных рек. Они имеют характер грязевого или грязево-каменного потока и обладают огромной разрушительной силой. Процесс разрушения селем часто называют селевой эрозией. Образованию селей способствуют интенсивные ливни или бурное снеготаяние, значительные уклоны местности, наличие большого количества обломочного материала на поверхности склонов и в долинах, отсутствие растительного покрова на склонах.

Сели – грозное явление природы, однако в их образовании часто немалую роль играют антропогенные факторы: вырубка леса, интенсивный нерегулируемый выпас скота на склонах, появление отвалов породы при разработке месторождений полезных ископаемых на территории водосборного бассейна и т.д.

Оврагообразование – процесс сосредоточенного (линейного) размыва слабоводостойких пород, Оврагообразование является результатом деятельности талых и дождевых потоков, влияющих на размывание, размокание, насыщение водой неустойчивых пылеватых песчано-глинистых отложений. В периоды интенсивного увлажнения эти грунты становятся тяжелее, изменяется их консистенция, резко снижается прочность на склонах и откосах.

Криогенные процессы развиты в зоне вечной мерзлоты. Их иногда называют криогенной, или термальной эрозией. Одна из форм проявления этих процессов – пучение почв с образованием *бугров пучения*. Это явление иногда называют пучинной эрозией. Пучение почв связано с замерзанием содер-

жащейся в почве воды. Особенно много бугров пучения встречается на торфянистых почвах, содержащих большое количество воды. Такие бугры достигают 2 - 4 м и более высоты (иногда до десятков метров).

Солифлюкция – это медленное отекание переувлажненного слоя почвы со склонов. Наиболее широко она развита в зоне вечной мерзлоты. Солифлюкция проявляется также на крутых склонах в ряде высокогорных районов и может быть связана с перенасыщением водой почвы в результате выпадения обильных осадков.

Термокарст – процесс вытаивания льда, заключенного в почве и верхней части подпочвенных слоев, и связанное с ним проседание поверхности и образование отрицательных форм рельефа. Этот процесс часто называют термокарстовой эрозией. Термокарстовые понижения служат своеобразным базисом эрозии, а вода, появляющаяся от вытаивания льда, стекая, вызывает эрозию. Эрозия проявляется особенно интенсивно при сезонном оттаивании почвенного слоя, когда водонасыщенная с поверхности оттаявшая почва, имеющая часто почти плавунное состояние, легко смывается формирующимся стоком вод.

Термокарст может проявляться в связи с потеплением климата, экстремальными отклонениями температурного режима в отдельные годы. Очень часто его возникновение связано с антропогенными факторами: локальным увеличением глубины сезонного оттаивания почв при прокладке дорог, при проведении лесозаготовок, при строительных работах. Таким образом, термокарст может быть как природным, так и антропогенным явлением.

Экзарация – это разрушение горных пород спускающимися с гор ледниками, обусловленное трением льда и вмерзших в него обломков о подстилающие породы. Одновременно с разрушением и переносом горных пород движущимся льдом происходит и аккумуляция обломочного материала образуются так называемые морены.

Лавины - массы снега, скользящие и низвергающиеся с горных склонов. Сход снежных лавин, вызывающий повреждение растительного покрова и почв, иногда называют лавинной эрозией. Сход снежных лавин увеличивает эрозионную опасность земель. При сходе снежных лавин на склонах часто образуются желоба, которые впоследствии превращаются в линейные формы эрозии – промоины и овраги, где последующей эрозией почва нередко уничтожается полностью, в ряде мест формируются оползни и осыпи.

Речная боковая эрозия выражается в расширении вреза водотока в стороны, в результате чего происходит подмыв берегов и разрушение почв. На интенсивность речной боковой эрозии нередко значительное влияние оказывают антропогенные факторы – вырубка леса по берегам, интенсивная пастбища скота, распашка берегов рек, проведение различных строительных работ.

Абразия – это процесс разрушения берегов морей, озер и водохранилищ волнами. Значительная интенсивность абразии в ряде случаев также связана с антропогенными факторами: вырубкой по берегам лесов, разрушением травяного покрова. Проявление абразии активизируется эрозией почв и почвообразующих пород.

Тайфуны, цунами, приливы приводят к проявлению процессов снижения плодородия почв и разрушения земель – к затоплению, аккумуляции наносов, активизации оползневых и просадочных процессов, к засолению почв.

МАСШТАБЫ АНТРОПОГЕННОЙ ДЕГРАДАЦИИ ПОЧВ

Уровень деградации земель непосредственно связан с плотностью населения и производства. На степень деградации земель влияют уровень развития и вид хозяйствования в разных странах. В странах Азии и Африки высока роль в деградации почв перевыпаса и сведения лесов, в Северной Америке – сельскохозяйственной деятельности, в Европе – индустриального

производства. В Европе на землях, занятых лугами и лесами, процент деградированных земель выше, чем в среднем на планете.

Преобладание того или иного вида деградации определяется и климатическими условиями, которые зачастую диктуют доминирующий вид хозяйственного освоения на данной территории. Например, в России прослеживается зональность в распространении разных видов деградации почв. На севере преобладает деградация оленьих пастбищ, в центральной части – дегумификация, истощение и эрозия почв, на юге – опустынивание (табл. 1.2.1).

Таблица 1.2.1

Факторы антропогенной деградации почв (млн га) (Oldeman, 1991)

Континент (регион)	Сведение лесов	Чрезмерная эксплуатация	Пере--выпас	Сельское хозяйство	Промышленная деятельность
Африка	67	63	243	121	+
Азия	298	46	197	204	1
Южная Америка	100	12	68	64	-
Центральная Америка	14	11	9	28	+
Северная Америка	4	-	29	63	+
Европа	84	1	50	64	21
Океания	12	-	83	8	+
Всего в мире	579	133	679	552	22

Для Урала основной вид деградации почв – это отчуждение земель в результате техногенной деятельности, главным образом – горнодобывающей промышленности. При этом огромные площади земель оказываются изъятыми из оборота на месте карьеров, отвалов горной породы, хвостохранилищ, золоотвалов электростанций и т.д.

Деградация почв вызывает негативные изменения как экологических систем, так и в сельскохозяйственном производстве, а также в социальной сфере.

Во всем мире общий рост сельскохозяйственной площади привел к освоению земель низкого качества, называемых “маргинальных”, т.е. земель на грани пригодности, которые значительно менее устойчивы против деградиционных процессов, особенно против эрозии всех видов. К числу деградированных, особенно сельскохозяйственных угодьях, причисляют почвы естественно засоленные и солонцеватые, переувлажненные и заболоченные, кислые и засоренные. Собственно деградированные почвы, ухудшенные под воздействием хозяйственной деятельности человека, составляют только часть от их общей площади. Они представлены в основном эродированными и загрязненными радионуклидами, химически загрязненными почв в зоне действия промышленных объектов, вторично засоленные и заболоченные почвы на мелиорированных землях. Все оценки площадей деградированных почв в мировом масштабе и по России очень приблизительны и касаются в основном пахотных земель, которые в мире составляют 10 – 11 %, а по России несколько менее 8 % от общей территории страны.

В наибольшей мере деградация почв проявляется на интенсивно используемых в сельском хозяйстве, на лесных разработках, в зонах влияния городов, промышленных объектов, химических и нефтеперерабатывающих комбинатов, трубопроводов, транспортирующих их продукты, средств коммуникаций (трубопроводы, автодороги и др.), на территориях геологической разведки и открытой добычи полезных ископаемых и др. Особый вид дегградации почв возникает в связи со строительством, нарушающим водный баланс и структуру водных потоков на территориях. Это прежде всего водохозяйственное строительство плотин, водохранилищ для зарегулирования речных стоков, водоотводящих каналов для переброски речных вод в бассейны других рек и на орошение новых массивов земель и т.д. Почвы ниже плотин,

лишившиеся регулярного затопления паводковыми водами, обсыхают, остепняются, засоляются и опустыниваются. Вдоль водохранилищ создаются зоны вторичного подтопления и засоления почв. Дегradированные почвы приобрели глобальное значение, и борьба с ней должна являться одним из главных звеньев в системе мер по охране окружающей среды.

Дегradация почв достигла огромных размеров (табл. 1.2.2), ее последствия испытывает по крайней мере треть всей суши планеты – под угрозой оказывается экологическая и экономическая безопасность не только отдельных регионов, но и всей Земли. По данным Международного справочного информационного центра (1993), в мире дегradации подвержено 56 % земель (в Европе 52 %), в том числе химическому загрязнению – 12 % (в Европе – 26 %), физическому 4 % (в Европе – 36 %).

Таблица 1.2.2.

Виды и размеры глобальной антропогенной дегradации почв, млн. га (по Мотузовой, Безугловой, 2007)

Виды дегradации	Степень дегradации			Общая площадь
	Слабая	Средняя	Сильная	
Водная эрозия	343	527	224	1094
Ветровая эрозия	269	254	26	549
Потеря элементов питания	52	63	20	135
Засоление	35	20	21	76
Загрязнение	4	17	1	22
Закисление	2	3	1	6
Суммарная площадь	749	911	305	1965

В России водной эрозии подвержено 56 % площадей, дефляции – 28 %, химической дегradации – 12 %, физической дегradации – 4 % площадей. Сельскохозяйственные земли в России нарушены водной эрозией на площади 300 тыс. км², ветровой эрозии – на площади 79 тыс. км². Ежегодно пло-

щадь эродированных земель в стране возрастает на 4 - 5 тыс. км² (по Мотузовой, Безугловой, 2007). Для борьбы с ней требуется все больше материальных и энергетических средств.

Повсеместно распространено загрязнение почв токсикантами, преимущественно промышленного происхождения (тяжелые металлы, нефть и нефтепродукты) Загрязнение почв – один из видов деградации почв. Затронуты этим видом деградации меньшие площади. Но загрязнение всех природных сред все отчетливее приобретает общепланетарные размеры. Экологическая опасность загрязнения состоит в том, что загрязняющие вещества в окружающей среде неизбежно оказываются в составе живых организмов, в том числе в организме человека. С загрязняющими веществами связаны различные виды негативного воздействия на живые организмы. Среди них возрастают нарушения, закрепляемые в живом организме на генетическом уровне. Последствия этого труднопредсказуемы. Загрязнение рассматривается как одна из возможных причин экологического кризиса.

Список рекомендуемой литературы

- Заславский М.Н. Эрозиоведение / М.Н. Заславский. – М.: Высшая школа, 1983. – 380 с.
- Кузнецов М.С. Эрозия и охрана почв / М.С. Кузнецов, Г.П. Глазунов. – М. : МГУ, 1996. – 335 с.
- Мотузова Г.В. Экологический мониторинг почв / Г.В. Мотузова, О.С. Безуглова. – М. : Академический проект, 2007. – 237 с.

1.3. Эрозия как один из наиболее распространенных видов деградации почв

Проблема охраны почв от эрозии становится все более актуальной. Это связано, во-первых, с осознанием выдающейся роли почвы в жизни биосферы, во-вторых, с признанием того факта, что почвенный покров России и всего мира находится сейчас в критическом состоянии. Действительно, к настоящему времени убедительно показано, что почва является не только основным средством сельскохозяйственного производства, но и важнейшим, незаменимым компонентом биосферы (см. раздел 1.1). Приходится, однако, констатировать, что этот незаменимый компонент биосферы претерпевает значительную деградацию. Из всех ее видов наиболее масштабной и вредоносной является эрозия почв.

В документах Конференции ООН по окружающей среде и развитию, проходившей в Рио-де-Жанейро в 1992 г., приведены следующие цифры по степени деградации почвенного покрова Земли (в процентах от общей площади):

- крайняя степень деградации > 1%
- сильная степень деградации > 15 %
- умеренная степень деградации > 46 %
- легкая степень деградации > 38 %.

По соотношению наиболее распространенных видов деградации:

- водная эрозия - 56 %
- ветровая эрозия - 28 %
- химическая деградация - 12 %
- физическая деградация - 4 %.

Среди многочисленных современных монографий, посвященных почвенной эрозии, учебников и учебных пособий по эрозии почв и методам

борьбы с нею, стоит выделить труды М.Н. Заславского “Эрозия почв” (1978); “Эрозиоведение” (1983, 1984); М.С. Кузнецова и Г.П. Глазунова “Эрозия почв” (1995), “Эрозия и охрана почв” (1996), Г.А. Ларионова “Эрозия и дефляция почв” (1993) а также учебную литературу по проблемам охраны почв, охватывающую также и вопросы защиты почв от эрозии. Это прежде всего учебное пособие Г.В. Добровольского, Л.А. Гришиной “Охрана почв” (1985). Указанные источники использовались при подготовке настоящего раздела.

ОБЩЕЕ ПОНЯТИЕ ОБ ЭРОЗИИ ПОЧВ

КЛАССИФИКАЦИЯ ЭРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ

Слово “эрозия” имеет иностранное происхождение (от франц. “erodere” – разъедать; лат. erosio — разъедание). Понятие “эрозия” многозначно, оно используется в почвоведении, геологии, медицине, технике и т.д.

Под **эрозией почвы** понимается совокупность взаимосвязанных процессов отрыва, переноса и отложения почвы (иногда материнской и подстилающей пород) поверхностным стоком временных водных потоков и ветром.

Термин “эрозия” применяется во многих отраслях знаний: в медицине, технике, социологии и т.д. В геологии и географии иногда под эрозией понимаются разнообразные денудационные процессы разрушения поверхностного слоя земной коры. В результате многовековой речной эрозии формируется эрозионный рельеф.

К эрозии почв нередко относят и всевозможные явления, снижающие плодородие почв и разрушающие почвенный покров, вызываемые чисто антропогенными факторами. Накопление в почве ядохимикатов называют *химической эрозией*, перемещение почвы со склонов почвообрабатывающими орудиями называют *механической эрозией* (или агротехнической, или техно-

логической), глыбистую вспашку иногда называют *глыбистой эрозией*, вторичное засоление почв при орошении стали называть *эрозией засоления*, разрушение дернины при пастьбе скота – *пастбищной эрозией*, разрушение почвенного покрова при лесозаготовках – *лесотехнической эрозией*, при разработке полезных ископаемых – *горнопромышленной эрозией* и т.д. Применяется и термин “смешанная эрозия”.

В основе же, в зависимости от причин возникновения, все это многообразие видов эрозии можно отнести к двум основным типам: водной эрозии и ветровой эрозии.

Водная эрозия происходит под влиянием стока дождевых, талых, поливных и сбросных вод. Эрозия берегов морей, рек, озер и водохранилищ сюда не входит, поскольку в этих случаях потоки воды имеют постоянный, а не временный характер.

Ветровую эрозию, которая происходит в результате воздействия на верхние горизонты почв сильных воздушных потоков (ветра), почвы часто называют дефляцией почвы. Слово “дефляция” также иностранного происхождения (от фр. “de” – прочь и лат. “flare” – дуть).

Ряд исследователей: Г.И. Швебс (1981), М.Н. Заславский (1979, 1983, 1984) и некоторые другие, исследовавшие, в основном, взаимодействие почвы с водными потоками, предлагают под эрозией почвы понимать лишь водную эрозию, термин “ветровая эрозия” полностью заменить дефляцией. В этом случае под *эрозией почв* будет пониматься смыв и размыв почвы и почвообразующих пород поверхностным стоком временных водных потоков.

Другие, как, например, С.С. Соболев (1961), А.Н. Каштанов (1974), М.С. Кузнецов (1985, 1986, 1996), придерживаются обратного мнения, обуславливая такую точку зрения тем, что процессы водной и ветровой эрозии почвы наряду с различиями имеют много общего как в механизме процессов, так и во внешних формах их проявления, а также в методах защиты почв.

Эрозия почв проявляется на землях сельскохозяйственных и несельскохозяйственных. Отсюда появились термины: *сельскохозяйственная эрозия* и *несельскохозяйственная*. Эрозию почв, вызываемую неправильным использованием несельскохозяйственных земель, часто называют *техногенной эрозией*. На сельскохозяйственных землях эрозия имеет свои особенности проявления: на пашне, на пастбищах, в садах и на других угодьях. Многими авторами применяется термин “пастбищная эрозия”.

Существует и такое понятие, как *эрозионноопасные земли*. Это территории, где создается опасность проявления смыва и размыва почв, а также выдувания почв (в последнем случае их еще принято называть *дефляционно-опасными* или *ветроэрозионноопасными*).

ВОДНАЯ ЭРОЗИЯ

По морфологическим признакам эрозионных форм при действии водных потоков различают:

- 1) *поверхностную эрозию* или смыв почвы;
- 2) *линейную эрозию* или размыв почвы.

Каждый из перечисленных видов эрозии может сопровождаться проявлением смыва или размыва почвы, но чаще всего - и того и другого, в зависимости от местоположения изучаемого участка на склоне. В результате проявления поверхностной эрозии формируются смытые почвы: слабосмытые, среднесмытые, сильносмытые. В результате проявления линейной эрозии вначале формируются промоины, которые затем перерастают в овраги.

Поверхностная эрозия, или смыв, в свою очередь делится на *плоскостную* и *струйчатую*. Различие это достаточно условное. Считается, что плоскостная эрозия вызывается движением сплошной пелены стока. Практически условия для ее образования создаются редко и смыв почвы осуществляется преимущественно струйчатыми потоками.

Необходимым условием возникновения водной эрозии почвы является *сток поверхностных вод* или *поверхностный сток*. По генезису временных водных потоков, вызывающих смыв и размыв почвы, можно выделить три основных типа поверхностного стока: дождевой сток, талый и сток поливной воды. Им соответствуют три вида эрозии почв, которые различаются не только по источнику стока, но и по механизму процесса, а также по величине причиняемого ими ущерба:

1) *эрозия при снеготаянии*. Отличается наименьшей выраженностью, но большой продолжительностью. Потери почвы от эрозии при снеготаянии составляют чаще всего несколько тонн с гектара.

2) *дождевая эрозия* (или *ливневая* - при сильных дождях). Продолжительность процесса эрозии почвы при дождях гораздо меньше, чем при снеготаянии и измеряется минутами и часами, а количество смываемой почвы – больше. Оно может достигать десятков тонн с гектара.

3) *ирригационная эрозия* (т.е. эрозия почвы при орошении). Ущерб различен и зависит от способа орошения: эрозия при поливе напуском по бороздам, по полосам, по чекам; при дождевании.

ВЕТРОВАЯ ЭРОЗИЯ

Ветровая эрозия представляет собой процесс захвата и переноса рыхлого поверхностного материала ветром, при этом он подвергается абразивному воздействию переносимых ветром частиц. Пространственное перераспределение и сортировка частиц в процессе ветровой эрозии может оказывать значительное влияние на почвы, их микротопографию и связанную с ними сельскохозяйственную деятельность.

Все процессы разрушения, переноса и отложения почв и пород, связанные с деятельностью ветра получили название *эоловой дефляции* – это выдувание и развеивание почв и пород. Обтачивание, шлифовка, высверливание и разрушение твердых пород обломочным материалом, перемещаемым под

действием ветра, называют *корразией*. Процессы навевания, отложения называют *эоловой аккумуляцией*.

Необходимым условием *ветровой эрозии* почв является ветер, скорость которого достаточна для перемещения частиц почвы. По таким внешним признакам, как интенсивность, продолжительность и масштабы явления, а также размер ущерба, различают *повседневную ветровую эрозию* и *пыльные бури*. Различие это также достаточно условно. Отличительными признаками повседневной ветровой эрозии можно считать относительно низкую скорость ветра, повседневная эрозия чаще всего ограничена масштабами одного или нескольких соседних полей на территории которых развиваются все стадии процесса – от выдувания почвы до отложения наносов. Практически все пахотные почвы в той или иной степени подвержены повседневной ветровой эрозии, в особенности при обработке.

При больших скоростях ветра, значительно превышающих критическую для почв, существенно увеличиваются высота подъема почвенных частиц в воздух, которая достигает сотен метров, и дальность их переноса, достигающая сотен и тысяч километров. В метеорологии перенос сильным ветром большого количества пыли, сопровождающийся ухудшением видимости, называется пыльной бурей. Пыльные бури - грозное явление, масштабы которого не раз принимали размах стихийного бедствия.

Возможность и интенсивность выдувания почвы определяется аэродинамическими особенностями воздушных потоков, свойствами почв и почвозащитной способностью растительного покрова. С увеличением скорости ветра в приземном слое и его продолжительности возрастает опасность дефляции. Однако при хорошем растительном покрове дефляция не проявляется, даже при продолжительном сильном ветре. Чем хуже почва защищена растительностью, тем больше возможностей для проявления дефляции.

Дефлированные почвы обычно имеют пониженную противозерозионную устойчивость и часто на склонах легко подвергаются водной эрозии. В

результате сильной дефлированности почв пахотные земли переводятся в другие угодия, а иногда исключаются из сельскохозяйственного использования. Эоловые процессы наносят большой ущерб сельскому, водному и другим отраслям хозяйства, о чем речь более подробно пойдет дальше.

ФАКТОРЫ ЭРОЗИИ

В соответствии с классификацией М.С. Кузнецова и Г.П. Глазунова (1995) выделяют следующие факторы эрозии и дефляции:

1. Климат
2. Рельеф.
3. Свойства подстилающих горных пород и самих почв.
4. Растительность.
5. Хозяйственная деятельность человека.

Среди *климатических факторов* ведущее значение имеет режим выпадения осадков (их вид, продолжительность, интенсивность), а также режим ветров (сила ветра, частота смены направлений, порывистость ветра, суточный ход и продолжительность). Опосредованное влияние на развитие эрозионных процессов оказывает и температура воздуха – так, при резких ее колебаниях нарушается структура почв, что ведет к уменьшению ее противозерозийной стойкости. Тем не менее, четких закономерностей изменения интенсивности эрозии в зависимости от расположения климатических зон не обнаруживается. Считается, однако, что сила эрозионных процессов уменьшается с юга на север и с запада на восток. В направлении на север возрастает доля эрозии от снеготаяния.

Рельеф суши определяет особенности стока талых и дождевых вод, а, следовательно, - и силу связанных ними эрозионных процессов. Существует тесная связь между крутизной склона и эродирующей способностью почв: чем больше уклон, тем больше скорость водного потока и его энергия, тем

больше причиняемые им почве разрушения. Имеют также значения длина склона (чем она больше, тем больше суммарная величина смыва); экспозиция склона (опосредованно – через густоту защищающего почвы растительного покрова: так, по некоторым оценкам, в лесостепи величина водной эрозии минимальна на южных склонах, максимальна – на северных и северо-западных, причем разница может составлять до 400 %).

Если наличие уклонов поверхности является необходимым условием для проявления смыва почв, то выдувание почв может происходить и в условиях выровненного рельефа. На склонах наибольшей дефляцией характеризуются стороны, обращенные к ветру; имеет большое значение и крутизна склона.

Свойства почв и грунтов определяют способность почв формировать поверхностный сток и, следовательно, эродирующую способность потока. Чем больше водопроницаемость, водопрочность структуры и влагоемкость почв – тем меньше интенсивность эрозии. При этом определяющее значение имеет гранулометрический состав почв – чем он легче, тем больше водопроницаемость и, следовательно, меньше величина смыва. Кроме того, большое влияние на противоэрозионную стойкость почв оказывает величина содержания в них гумуса, который “склеивает” отдельные почвенные частицы, увеличивая сопротивляемость почв к процессам водной эрозии и дефляции.

Степень опасности проявления процессов разрушения почв ветром также во многом определяется почвенным покровом. При этом почвы, наименее опасные для разрушения стоком вод, могут быть наиболее опасными для разрушения ветром. Например, песчаные почвы, обладающие очень высокой водопроницаемостью, в большинстве случаев легко поглощают выпадающие дождевые осадки, и поверхностный сток на них часто отсутствует: И именно эти почвы наиболее интенсивно разрушаются ветром.

Противодефляционная устойчивость почв во многом определяется механическим составом, минералогическим составом фракций, геометрической

формой, содержанием в почве гумуса и карбонатов, агрегатным составом почвы, емкостью и составом поглощающего комплекса, содержанием воднорастворимых солей, плотностью сложения почвы, ее влажностью. Легче подвергаются дефляции почвы легкого механического состава, сильно распыленные почвы среднего и тяжелого механического состава, почвы с малым содержанием гумуса и большим количеством карбонатов, пересушенные почвы.

Большое влияние оказывает и сезонное состояние почв. Почвы, насыщенные водой, не обеспечивают поглощения выпадающих ливневых осадков, являются наиболее опасными для разрушения стекающей водой. В то же время такие почвы наименее опасны для выдувания. Оттаявший с поверхности верхний слой водонасыщенной промерзшей почвы весной очень легко смывается, но в таком состоянии почва менее всего подвержена выдуванию.

Растительность оказывает многообразное влияние на процессы эрозии почв. Хорошо развитый покров предохраняет ее от удара дождевых капель, увеличивает водопроницаемость, снижает скорость склонового стока. В результате смыв почвы в этом случае резко уменьшается. Растительность уменьшает и скорость ветра в припочвенном слое, предохраняя почву от дефляции. Таким образом, растительность является мощным рычагом воздействия человека на процессы эрозии почв.

Хозяйственная деятельность человека, как будет показано далее, оказывает определяющее значение на величину интенсивности эрозии, предотвращая появление антропогенной эрозии.

ОЦЕНКА ИНТЕНСИВНОСТИ ЭРОЗИИ

С количественной стороны процесс эрозии почв характеризуют *интенсивностью смыва* (или сдувания), выражаемой в т/га в год, либо мощностью утраченного слоя почвы в единицу времени (мм/год). В этих же единицах

измеряют и скорость почвообразования. О степени опасности эрозии можно судить, сопоставив интенсивность смыва (или сдувания) почвы со скоростью почвообразовательного процесса. Если интенсивность эрозии меньше скорости почвообразования, то можно предположить, что она не представляет опасности для данной почвы. Такую эрозию принято считать нормальной. Если интенсивность потерь почвы больше скорости почвообразования, ее считают ускоренной.

Определение интенсивности потерь почвы от эрозии – вполне разрешимая задача, хотя и трудоемкая. Методы определения интенсивности потерь почвы от разных видов эрозии в настоящее время хорошо разработаны. Гораздо труднее оценить пути дальнейшего развития таких почв, особенно в долгосрочной перспективе, и эта задача до настоящего времени во многом еще не решена. Один из возможных путей ее решения – изучение древних антропогенных нарушений на археологических памятниках. Именно об этом пойдет речь в основной части этого учебного пособия (см. главы 2 и 3).

М.Н. Заславским разработана классификация для оценки интенсивности эрозии (при плотности сложения почвы 1 т/м^3):

Таблица 1.3.1.

Классификация для оценки интенсивности эрозии (Заславский, 1983)

Уровень смыва	Количественная величина смыва	
	т/га в год	мм/год
Незначительный	до 0,5	до 0,05
Слабый	0,5-1	0,05-0,1
Средний	1-5	0,1-0,5
Сильный	5-10	0,5-1
Очень сильный	более 10	более 1

Эрозия почв в тех масштабах, в которых она наблюдается сейчас, является, несомненно, результатом человеческой деятельности, поэтому ее назы-

вают *антропогенной эрозией*. Было бы неправильно, однако, причину возникновения эрозии относить исключительно на счет деятельности человека. Эрозия почв без вмешательства человека существовала и существует в настоящее время. Она называется *геологической эрозией*. Понятие антропогенной эрозии часто отождествляют с понятием ускоренной эрозии.

Влияние хозяйственной деятельности человека на процессы эрозии трудно переоценить. Действие антропогенного фактора проявляется опосредовано, через другие факторы эрозии почв, окончательный эффект этого воздействия часто бывает неблагоприятным, что сопровождается ускорением развития эрозии почв. Ускоренная эрозия почв в современных условиях чаще всего является следствием нерациональной хозяйственной деятельности. Ее причинами могут быть как отсутствие научно обоснованных рекомендаций по рациональной хозяйственной деятельности с учетом всех факторов эрозии почв, так и невыполнение имеющихся рекомендаций.

Необходимо отметить, что к настоящему времени разработан весьма обширный перечень противоэрозионных мероприятий, который непрерывно продолжает пополняться все новыми рекомендациями по охране почв от эрозии. К сожалению, в настоящее время в силу различных причин они зачастую оказываются малоэффективны.

Для скорейшего внедрения этих систем помимо прочего необходимы и количественные методы прогнозирования потерь почвы от эрозии. Надежные методы прогнозирования потерь почвы от эрозии позволяют существенно ускорить разработку почвозащитной системы земледелия, поскольку они позволяют предварительно оценить эффективность различных противоэрозионных мероприятий, оценить способность почв восстанавливать свой потенциал в каждом конкретном случае, предложить оптимальные варианты почвозащитных систем земледелия.

КЛАССИФИКАЦИЯ ЭРОДИРОВАННЫХ И ДЕФЛИРОВАННЫХ ПОЧВ

Существует три группы классификаций почв по степени смытости. К первой группе относятся классификации, где основным признаком является доля потерянного в результате смыва гумусового горизонта, дополнительными – цвет пахотного горизонта, вовлечение в него того или иного нижележащего горизонта, наличие на поверхности русел временных потоков и прочее) являются вспомогательными. К этой группе принадлежат классификации С.С. Соболева (1948, 1961), Г.П. Сурмача (1954, 1992) и другие.

Наиболее широко в полевых условиях используют классификацию С.С. Соболева. Она основана на учете изменения мощности генетических горизонтов. В соответствии с этой классификацией (табл. 1.3.2) эродированные почвы делят на слабосмытые, среднесмытые, сильносмытые и очень сильносмытые почвы.

Таблица 1.3.2.

Классификация смытых почв (Соболев, 1961)

Категория почв по степени смытости	Изменение мощности горизонтов
Слабосмытые почвы	Смыто не более 1/2 гор.А. При этом распахивается нижняя часть гор.А ₁ . По цвету пахотного слоя почва не отличается от несмытой. В дерново-подзолистых почвах подпахивается и гор.А ₂ . В связи с этим пашня приобретает белесый оттенок.
Среднесмытые почвы	Смыт частично (более половины) или полностью гор.А ₁ ; припахивается или распахивается гор.В ₁ . Пахотный слой подстилается гор.В ₁ или В ₂ . Поверхность пашни имеет буроватый оттенок. Дерново-подзолистая почва считается среднесмытой, если она частично или: полностью утратила гор.А ₂ .
Сильносмытые почвы	Полностью смыт гор. В ₁ , распахивается гор.В ₂ , а пахотный слой подстилается нижней частью переходного к материнской породе гор.В ₂ . Пашня имеет бурый цвет.
Очень сильно смытые почвы	Смыт полностью гор.В ₂ , распахивается материнская порода (гор.С). Пахотный слой бурого цвета, характеризуется глыбистой структурой.

Вскипание почвы с поверхности в некоторых случаях позволяет отнести ее к категории эродированных и даже определить степень смытости. Так, если каштановая почва вскипает с поверхности, ее можно отнести к категории среднесмытых почв; если с поверхности вскипает обыкновенный чернозем, то его можно отнести к категории сильносмытых или даже очень сильно смытых почв. Кроме того, не все почвы с увеличением степени смытости приобретают бурую окраску. Так, сероземы с увеличением эродированности приобретают все более светлую окраску.

При использовании данной классификации возникает проблема различения смытых и нормальных маломощных почв. В этом случае приходится анализировать набор и соотношение мощностей сохранившихся нижних горизонтов почвы. Маломощная несмытая почва должна иметь весь набор генетических горизонтов в отличие от смытой почвы. Кроме того, в каменистых почвах количество камней в пахотном слое увеличивается с увеличением степени смытости почвы.

Наряду с достоинствами данная классификация имеет и ряд недостатков. Использование в качестве критерия цвета почвы может привести к ошибкам, так как цвет в значительной степени зависит от влажности почвы и ее освещенности. По цвету нельзя выделить слабосмытые почвы (кроме дерново-подзолистых). Подпахивание того или иного горизонта также не очень надежный признак, поскольку к настоящему времени стали все шире использовать вспашку на разную глубину, безотвальную вспашку, обработку почвы плоскорезами. Маломощные почвы все же трудно отличать от смытых. В качестве альтернативы М.Н. Заславским была предложена классификация, основанная на количественном измерении свойств почв (табл. 1.3.3).

Таблица 1.3.3.

**Классификация черноземов и серых лесных почв
по степени смывтости (Заславский, 1972)**

Категория почв по степени смывтости	Уменьшение содержания гумуса в слое почвы 0-50 см, % от несмытой почвы
Слабосмытые	10 – 20
Среднесмытые	20 – 50
Сильносмытые	50 – 70
Очень сильно смытые	> 70

Указанные классификации не противоречат одна другой, поскольку обе в конечном счете опираются на содержание в почвах гумуса. Преимущество классификации М.Н. Заславского перед классификацией С.С. Соболева в том, что она основана на аналитическом определении, недостаток в том, что ее нельзя применять в полевых условиях. Обычно ее применяют при картировании почв на стоковых площадках.

Классификация *дефлированных* почв в целом строится на той же основе, что и классификация *смытых* почв. Но есть и различия. В первую очередь они обусловлены большим влиянием генезиса почв на особенности протекания процессов дефляции. Это является причиной построения отдельных классификаций для дефлированных органогенных почв, почв тяжелых по гранулометрическому составу, а также для супесчаных и песчаных почв. Кроме того, на дефлированных почвах снижение урожайности сельскохозяйственных культур обусловлено, в отличие от смытых почв, не только общим ухудшением свойств, но и ежегодным проявлением дефляции и связанным с ней заселением растений. В классификациях дефлированных почв отражается возросшая (по сравнению с намытыми почвами) роль эоловых отложений в формировании почвенного покрова дефлированных территорий (Кузнецов, Глазунов, 1988).

К третьей группе относятся классификации коллектива авторов, опубликованные в "Общесоюзной инструкции по почвенным обследованиям и составлению крупномасштабных почвенных карт землепользования" (Носин и др., 1973) и позднее в работе "Классификация и диагностика почв СССР" (Егоров, Фрилланд, Иванова и др., 1977), в которой используются оба диагностических признака. Классификация почв по степени смытости, отнесенная к третьей группе, является в значительной мере компиляцией классификаций, предложенных ранее. Для пахотных почв они практически полностью повторяют классификацию С.С. Соболева, а для пахотных почв включают помимо нее элементы классификации М.Н. Заславского.

ЗОНАЛЬНОСТЬ ПРОЯВЛЕНИЯ ЭРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ

В проявлении эрозионных процессов и распространении эродированных почв легко прослеживается зональность, которая определяется закономерными изменениями природных и антропогенных факторов эрозии (Сильвестров и др., 1972; Кальянов, 1976).

Ландшафты *тундры и лесотундры* испытывают все увеличивающуюся нагрузку, связанную с разведкой, добычей и транспортировкой полезных ископаемых, в первую очередь нефти и газа. Это сопровождается механическим нарушением почвенного покрова и уничтожением растительности на больших площадях, что в свою очередь, приводит к появлению термокарста и созданию условий для проявления эрозионных процессов. Тундровые ландшафты и почвы легко подвергаются деградации, но очень медленно восстанавливаются. На легких по гранулометрическому составу породах проявляется ветровая эрозия.

В *лесной зоне* широко распространены эрозионноопасные земли, однако преобладающая часть территории находится под лесом и надежно защищена от развития эрозии почв. На лишенных леса участках, а также повсе-

стно вблизи селений встречаются отдельные овраги. На некоторых освоенных участках смыв достигает значительных величин. Ветровая эрозия почв в лесной зоне носит очаговый характер. Очаги ветровой эрозии возникают в результате сведения леса на песках и песчаных почвах в результате осушения и распахивания избыточно увлажненных почв, а также на строительных площадках, вырубках, гарях.

Для *лесостепной и степной зон* характерна максимальная степень освоенности территории. Это обстоятельство, а также широкое распространение покровных отложений низкой противозэрозионной стойкости, значительное количество осадков в эрозионноопасный период, высокая расчлененность территории создали условия для максимального развития процессов водной эрозии. В центральной России процессами смыва может быть охвачено до 50 %, а иногда до 75 % пашни; до 30 - 40 %, а иногда и до 50 % пашни размещено на смытых почвах.

Высокая степень распаханности территории, неустойчивое, периодически недостаточное увлажнение, высокая повторяемость ветров, часто суховейных, способствуют широкому распространению ветровой эрозии почв в этих зонах. Слабые и пространственно более ограниченные пыльные бури и повседневная ветровая эрозия в разных частях этих зон проявляются практически ежегодно.

Водная эрозия в *полупустынной и пустынной зонах* развита значительно меньше, чем в степной и лесостепной, в связи с меньшей распаханностью территории. Нерациональная хозяйственная деятельность здесь сопровождается, главным образом, ветровой эрозией.

В *горных районах* при сведении растительности эрозия почв проявляется очень сильно, гораздо сильнее, чем на равнине. Для гор характерны более высокие скорости ветра и более интенсивный смыв на склонах, сопровождаемые денудацией, селевыми процессами, лавинами и т.д., поэтому последствия водной и ветровой эрозии будут наблюдаться быстрее и в большей сте-

пени, вплоть до полного обнажения исходных горных пород. Восстановление почв на таких территориях в историческом масштабе времени невозможно в связи с низкой скоростью выветривания горных пород.

СВОЙСТВА ЭРОДИРОВАННЫХ ПОЧВ

Эрозия и дефляция почв сопровождаются отрывом, переносом и отложением почв. В результате этого образуется комплекс смытых и намытых почв – в зоне эрозии, и сдутых и навесанных почв – в зоне дефляции. От "нормальных" почв они отличаются рядом свойств, которые требуют учета при их хозяйственном использовании и изучении (по Кузнецову, Глазунову, 1985, 1986; Заславскому, 1983; Ларионову, 1993, Ковалевой, 1992 и др.). Прежде всего изменения почв под действием эрозии и дефляции достаточно ярко отражаются на их *морфологии*.

Для эродированных почв характерно сокращение мощности профиля, уменьшение мощности генетических горизонтов, приближение к дневной поверхности горизонтов залегания карбонатов, гипса и других почвенных новообразований. Происходит изменение окраски пахотного слоя, которая зависит от степени эродированности почвы и ее генетической принадлежности.

Если говорить о водной эрозии, то цвет пахотного слоя слабосмытых почв почти не отличается от несмытых (у пахотного слоя дерново-подзолистых почв слабо проявляется белесый оттенок). С увеличением степени смытости пашня приобретает буроватый цвет (среднесмытые почвы), а затем бурый (сильносмытые).

Изменения наблюдаются и в физико-химических свойствах почв.

Смытые почвы отличаются повышенным содержанием песка (гранулометрических элементов крупнее 0,05 мм) и кремнезема. Для них характерно снижение водопрочности структуры, увеличение плотности и плотности твердой фазы, уменьшение общей пористости к некапиллярной скважности. Это приводит к уменьшению водопроницаемости и общей влагоемкости, уменьшению емкости катионного обмена, а также к ухудшению аэрации и микробиологической активности почв. Снижается содержание в почве элементов минерального питания растений. Для лесных почв характерно некоторое увеличение pH.

Изменения отражаются и на самом главном и специфичном компоненте почв, восстановление которого занимает наиболее длительное время – на почвенном гумусе.

Для всех эродированных почв характерно пониженное (по сравнению с нормой) содержание гумуса и ухудшение его качества: уменьшается отношение содержания углерода гуминовых кислот к содержанию углерода фульвокислот.

Указанные неблагоприятные изменения в свойствах эродированных приводят к ухудшению питательного режима почв, снижению урожая и его качества. При этом замечено, что растения, обладающие симбиотической азотфиксацией, слабее других реагируют на неблагоприятные свойства эродированных почв.

УЩЕРБ, ПРИЧИНЯЕМЫЙ ЭРОЗИЕЙ ПОЧВ

Водная эрозия. Водная эрозия почв наносит большой урон хозяйству многих стран, в первую очередь – их земельным ресурсам: снижается плодородие почв и сокращаются площади обрабатываемых земель. В мировом масштабе земельные ресурсы также не безграничны. В настоящее время на Земле в сельском хозяйстве используется около $1,5 \cdot 10^9$ га земель. Потенциально пригодных к использованию земель насчитывается около $3,2 \cdot 10^9$ га, однако вовлечение в сельскохозяйственное использование новых земель обусловлено все возрастающими капитальными вложениями на их освоение, включая мелиорацию и ирригацию. Положение осложняется также географической неравномерностью распределения народонаселения: на 7 % суши сконцентрировано 70 % человечества. И в этих сложных условиях часть пахотных почв ежегодно и во все больших масштабах отчуждается для целей строительства – городского, транспортного и промышленного. Кроме того, часть почв ежегодно безвозвратно теряется в результате эрозии. Только в черноземной зоне России овраги ежедневно "съедают" до 70 - 80 га земли. Более широко распространена поверхностная эрозия. Под действием поверхностной эрозии снижается плодородие почвы, повреждаются растения, а это приводит к потере 10 - 70 % урожая. Существуют даже коэффициенты уровня урожая на смытых почвах (табл. 1.3.4).

Таблица 1.3.4.

**Поправочные коэффициенты к уровню урожая
в зависимости от степени смытости почвы**

Тип почв	Поправочный коэффициент			
	Несмытые почвы	Слабо- смытые	Средне- смытые	Сильно- смытые
Черноземы выщелоченные	1,0	0,8	0,5	0,4

От эрозии почв страдает не только сельское хозяйство. Почва, смываемая с полей, откладывается в прудах, озерах, водохранилищах, попадает в каналы и реки. В некоторых случаях пруды полностью заиливаются в течение 10 - 15 лет. Заиливание водоемов и повышение мутности воды в реках затрудняет действие гидроэлектростанций, работу систем водоснабжения и водного транспорта. Количество наносов, транспортируемых рекой, зависит от интенсивности эрозии почв в ее бассейне и может достигать очень большой величины. Наибольшей мутностью воды отличаются реки Хуанхэ и Янцзы (до 35 - 40 кг/м³). Расчистка водохранилищ, каналов и рек требует больших капитальных вложений.

Важно отметить, что при стоке воды и смыве почвы с пашни отчуждается от 10 до 30 % вносимых удобрений и пестицидов, и они не только безвозвратно теряются, но и оказывают огромное негативное влияние на экологическое состояние территории, особенно на качество воды в реках, прудах и водохранилищах. Особое значение имеет эрозия почв в миграции радионуклидов. Радиоактивные изотопы прочно сорбируются почвой и перемещаются вместе с ней, в результате чего при смыве и дефляции почв происходит территориальное перераспределение радионуклидов, сосредоточенных, главным образом, в пахотном горизонте. Развитие эрозии почв на загрязненной территории может вызвать образование новых очагов радиоактивности в местах аккумуляции смытой или сдутой почвы с повышенным содержанием радионуклидов. Аналогичным путем образуются очаги вторичного загрязнения почв некоторыми гербицидами, а также засоления. Вторичное засоление в результате отложения содержащих растворимые соли эоловых наносов в настоящее время широко распространено в окрестностях высыхающего Аральского моря.

Ветровая эрозия. Огромный ущерб приносит и ветровая эрозия почв. Дефляция наиболее широко распространена в пустынных и полупустынных

областях; с меньшей интенсивностью и на более ограниченных площадях она проявляется в степной и лесостепной зонах. Иногда дефляция наблюдается и в лесной зоне на пересушенных торфяниках.

В возникновении дефляции и интенсивности ее проявления очень большую роль играют антропогенные факторы. Как известно, с 1957 по 1961 гг. в Северном Казахстане было освоено 41,5 млн. га целинных и залежных земель. До освоения целинных земель дефляция здесь имела ограниченное распространение. После массовой распашки целинных и залежных земель без применения почвозащитных мероприятий, особенно на территориях с легкими почвами, пыльные бури значительно участились.

В 60-х годах дефляция сильно проявлялась не только в Северном Казахстане, но также в Омской и Новосибирской областях, в Алтайском крае. В 50 - 60-х годах дефляция проявлялась и на Дальнем Востоке, а также на Северном Кавказе, на Украине, в Поволжье.

Дефляция сильно проявляется и во многих странах мира. Особенно сильна она была в 30-х годах в Канаде и США. В это время 75 % пахотного фонда США было подвержено дефляции. По некоторым данным (Оуэн, 1977), одномоментно ветром над районом Великих Равнин могло быть поднято до 300 млн. т почвы; в результате пыльных бурь 1934 и 1935 гг. на огромной площади было выдуть от 5 до 25 см верхнего плодородного слоя почвы.

Таким образом, дефляции подвергаются немалые площади обрабатываемых земель в мире, в результате чего выдувается верхний наиболее плодородный слой почвы и резко снижается ее плодородие.

Естественно, что вдуваемый материал должен где-то аккумулироваться. Часть почвы поднимается на высоту 5 - 6 км и более и переносится иногда

за тысячи километров от очага дефляции, а часть перемещается в приземном слое воздуха и аккумулируется на подветренных частях склонов, где резко снижается скорость ветра, а также у различных препятствий. Под слоем наносов часто погибают большие площади посевов. В результате перемещения эоловых форм ежегодно заносятся песком ценные земли, плодородие таких почв резко снижается. Заносятся и оросительные каналы, увеличивается мутность рек и т.д.

Процесс ветровой эрозии происходит в различных условиях окружающей среды при отсутствии достаточной степени защиты, обеспечиваемой растительным покровом; он имеет особенно большое значение в пустынях, в полузасушливых районах и в некоторых более влажных районах, испытывающих периодические засухи, в тундрах, в районах прибрежных дюн и в горных районах, подверженных ветровому воздействию.

Естественный процесс ветровой эрозии там может быть ускорен неразумной системой ведения сельского хозяйства, что может привести к ряду отрицательных последствий, включая разрушение почвенного покрова, повреждение культур и связанные с этим проблемы, а также многочисленные нежелательные экономические последствия.

Ущерб, причиняемый хозяйству ветровой эрозией почв, весьма многообразен. Уменьшается плодородие почвы, что связано с уменьшением мощности гумусового горизонта в результате его сдувания. Гибнут в результате выдувания и засыпания почвой посевы сельскохозяйственных культур. Даже если интенсивность ветровой эрозии почв невелика, наблюдается уменьшение урожайности сельскохозяйственных культур в результате засекания их скачущими почвенными частицами. Часто по причине засыпания гибнут и полезащитные лесные полосы.

При сильных пыльных бурях затрудняется работа промышленных предприятий и транспорта, засыпаются каналы. В пустынных районах выдувание почв и грунтов (чаще всего легкого гранулометрического состава) из-

под опор нарушает работу линий электропередач, нефте- и газопроводов. Ветровая эрозия почв наносит большой ущерб авиации – высокое содержание пыли в атмосфере в окрестностях аэродромов приводит к преждевременному износу двигателей. Увеличение запыленности воздуха отрицательно сказывается и на здоровье людей.

Итак, эрозионные процессы являются доминирующей причиной деградации почвенного покрова и потерь продуктивных земель в разных странах и в разных природных зонах. Масштабность проявления эрозии существенно зависит от состояния самих почв, однако ведущую роль играют рельеф и климатический фактор. В настоящее время определяющее значение в развитии эрозии приобрел антропогенный фактор. Потери верхних горизонтов почв – основной показатель ущерба, нанесенного эрозией. Выражается ущерб в т/га/год и мм/год перенесенного почвенного материала.

Список рекомендуемой литературы

- Заславский М.Н. Эрозия почв / М.Н. Заславский. – М. : Мысль, 1983. – 319 с.
- Кузнецов М.С. Эрозия почв (конспект лекций) / М.С. Кузнецов, Г.П. Глазунов. – М. : МГУ, 1995. – 92 с.
- Ларионов Г.А. Эрозия и дефляция почв / Г.А. Ларионов. – М. : МГУ, 1993. – 200 с.
- Киркби М.Ж. Эрозия почвы / М.Ж. Киркби, Р.П. Морган. – М. : Колос, 1988. – 416 с.
- Орлов А.Д. Эрозия и эрозионноопасные земли Западной Сибири / Д.С. Орлов. – Новосибирск : Наука, 1983. – 208 с.
- Танасиенко А.А. Эродированные черноземы юга Западной Сибири / А.А. Танасиенко. – Новосибирск : Наука, 1992. – 194 с.

1.4. Основы почвенно-экологического мониторинга (по Мотузовой, 2001, Мотузовой, Безугловой, 2007).

ПОНЯТИЕ ОБ ЭКОЛОГИЧЕСКОМ МОНИТОРИНГЕ

Слово “мониторинг” происходит от латинского слова “монитор”, что обозначает “тот, который напоминает, предупреждает”. Определение понятия экологического мониторинга дано в Программе ЮНЕСКО МАБ (Man and Biosphere) “Человек и Биосфера” (1968 г.):

Мониторинг рассматривается как система регулярных длительных наблюдений в пространстве и времени, дающих информацию о состоянии окружающей среды с целью оценки прошлого, настоящего и прогноза изменения в будущем параметров окружающей среды, имеющих значение для человека.

Оценке состояния окружающей среды люди стали уделять внимание лишь в середине XX века. Прошло более полувека после выхода в свет работ В.И. Вернадского, гениально доказавшего, что потребительское отношение человека к природе неизбежно ведет к ее разрушению, прежде чем человек обратил внимание на состояние окружающей его природной среды и осознал, что ее сохранение есть залог продолжения его собственной жизни.

В 1968 году в Париже состоялась конференция ЮНЕСКО, на которой были обсуждены основные положения Программы МАБ. Программа МАБ включала разработку рекомендаций по организации Глобальной системы мониторинга окружающей среды (ГСМОС). Главная ее задача: раннее обнаружение и предупреждение наступающих антропогенных изменений в состоянии природной среды, которые могут нанести вред (прямой или косвенный) благосостоянию людей. Термин “мониторинг” появился и в рекомендациях

специальной комиссии СКОПЕ (Научный комитет по проблемам окружающей среды) при ЮНЕСКО в 1971 году, а в 1972 году на Стокгольмской конференции ООН была принята программа СКОПЕ.

Проблема регулярного контроля состояния окружающей среды была сформулирована как межгосударственная и общепланетарная в 70-е годы XX века. В настоящее время термин “мониторинг” широко используется в разных целях, например, когда говорится о контроле состоянии здоровья, финансов, вооружения (мониторинг здоровья, мониторинг финансов и прочего).

Среди объектных видов мониторинга можно выделить *мониторинг атмосферного воздуха, гидросферы* (в совокупности – *гидрометеорологический*), *почвенный, биологический, сейсмический, ионосферный, солнца, гравиметрический, магнитометрический* и др. Все эти виды могут и дальше в свою очередь подразделяться на подвиды, что и происходит на практике. Так, биологический мониторинг включает *зоологический* (в нем также множество подвидов по рыбам, птицам и т. д.), *ботанический и антропологический*. В последнем стали выделяться не только медико-биологические направления, но и социальные.

Отдельно выделяют *геологический мониторинг*, интенсивно развивающийся не только вширь (в литосфере), но и вглубь – до мантии. Уже проводится локальный мониторинг подземных вод, криолитозоны, глубоких слоев геологического строения Земли. *Инженерно-экологический мониторинг* ставит перед собой задачу отслеживания пространственно-временной организации в природе геотехнических систем.

Экологический мониторинг призван выявить антропогенные изменения в состоянии окружающей среды, предупредить о ситуациях, вредных или опасных для здоровья людей и других живых организмов. Идеология экологического мониторинга в России сформулирована задолго до его организации В.И. Вернадским, А.Е. Ферсманом. Для научного обоснования его практических методов ценны работы И.П. Герасимова, для реализации этих мето-

дов и организации экологического мониторинга – работы Ю.А. Израэля, впервые возглавившего природоохранную службу в нашей стране.

Залог успеха экологического мониторинга в его комплексности, которая обеспечивается не только контролем состояния всех природных сред, но и установлением взаимосвязи между ними. Подход к экологическому мониторингу должен быть только экосистемным. Программа сегодняшнего экологического мониторинга предполагает контроль воды, воздуха, почвы. Особое место в системе экологического мониторинга отводится *почвенному мониторингу*. Это обусловлено уникальностью экологических функций почвы, а в 1972 г. уже появились первые предложения по Глобальной системе мониторинга окружающей среды (Стокгольмская конференция ООН по окружающей среде).

Экологический мониторинг (его нормативно-правовая база пока стандартизована и часто трактуется весьма произвольно) ставит своей целью дать ответы на следующие вопросы:

- каково состояние природной среды в рассматриваемый отрезок времени: в сравнении с предшествующим техногенезу состоянием и какие изменения (положительные, отрицательные) ожидаются в природной среде в прогнозируемый отрезок времени;
- в чем причины происшедших изменений и возможных изменений в будущем и что являлось, является или будет являться источником этих изменений;
- какие воздействия на данную локальную природную среду, определяемые исходя из выработанной для данного случая критериальной основы являются вредными (нежелательными или недопустимыми);
- какой уровень естественных и техногенных воздействий является допустимым для природной среды и отдельных ее компонентов;
- какой уровень естественных и техногенных воздействий на природную среду, отдельные ее компоненты и комплексы является недопустимым

или критическим, после которого восстановление природной среды до уровня экологического баланса является неосуществимым.

Организация экологического мониторинга, в полном объеме способного решать перечисленные задачи, - дело будущего.

ПОЧВЕННО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

Если, например, основная задача мониторинга атмосферы и гидросферы сводится в основном к контролю за их загрязнением, то почвенный мониторинг гораздо сложнее, чем мониторинг любой другой природной среды. Это связано с тем, что почвы выполняют специфические и важные функции в экосистеме, контроль за выполнением которых и составляет задачу почвенного мониторинга.

Предметом контроля почв являются прежде всего их изменения, вызванные деятельностью человека. Но многие неблагоприятные изменения свойств почвы могут формироваться естественным путем под влиянием природных факторов почвообразования, под влиянием катастрофических явлений в природе. Например, образование засоленных почв может быть следствием привноса их с грунтовыми водами. Потери почвенного гумуса могут быть следствием не только распашки или интенсификации земледелия, но и естественной смены биоклиматических условий. Это говорит о сложности вычленения антропогенных последствий изменения контролируемых при мониторинге свойств почв. Имеет значение и то, что в почве в отличие от воздуха атмосферы и вод поверхностных водоемов, экологические последствия антропогенные воздействия (например, загрязнения) обычно проявляются позже, но они более устойчивы и сохраняются дольше.

Почвенный экологический мониторинг — система регулярного не ограниченного в пространстве и времени контроля почв, который дает информацию об их состоянии с

целью оценки прошлого, настоящего и прогноза его изменения в будущем (Мотузова, 2001).

Почвенный мониторинг – одна из важнейших составляющих экологического мониторинга в целом, он направлен на выявление антропогенных изменений почв, которые могут в конечном итоге нанести вред здоровью человека. Особая роль почвенного мониторинга обусловлена тем, что все изменения состава и свойств почв отражаются на выполнении почвами их экологических функций, следовательно, на состоянии биосферы.

Программа мониторинга почв должна содержать перечень определяемых показателей, требования к выбору точек опробования и методов определения показателей, основания для оценки полученных уровней показателей (“нормальные уровни показателей”) и прогноза их изменения.

ВИДЫ ПОЧВЕННОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

На основе различий механизмов и масштабов проявления деградации почв выделяется две группы видов мониторинга, одну из которых представляют глобальный мониторинг, другую – локальный и региональный мониторинг почв.

1. Глобальный мониторинг. В целом – это система контроля за общепланетарным распространением контролируемых показателей, которое происходит за счет дальнего переноса их в атмосфере. Называют этот вид мониторинга также биосферным, так как его результаты характеризуют глобальные изменения состояния живых организмов на планете под влиянием человеческой деятельности.

Глобальный почвенный мониторинг – составная часть глобального мониторинга биосферы, он призван для оценки отражения в состоянии почв экологических последствий дальнего атмосферного переноса загрязняющих веществ. Цель глобального мониторинга — контроль общепланетарного за-

грязнения биосферы и сопровождающих его процессов глобального уровня.. Глобальный мониторинг ставит перед собой задачу оценить интенсивность влияния глобального переноса веществ на состояние почв, значительно удаленных от источников загрязнения.

Выполняется в заповедниках, получивших от ЮНЕСКО статус биосферных, объектами наблюдения являются национальные станции глобального мониторинга. Результаты наблюдений обобщаются на международном уровне в соответствии с международными программами, так как контроль общепланетарного загрязнения не может проводиться разными странами изолированно.

Эффективность глобального мониторинга получила международное признание. Результаты его позволили обнаружить разрушение озонового слоя, определить масштабы трансграничного переноса веществ, выявить угрозу повышения содержания в атмосфере парниковых газов и глобального потепления. За этим последовало принятие ряда международных документов, обеспечивающих ограничение переноса поллютантов на большие расстояния. Большую тревогу экологов вызывает глобальное потепление климата. Это явление большинство ученых считают антропогенным и связывают с постоянно возрастающим сжиганием ископаемого топлива.

Опыт работ по глобальному мониторингу показал, что глобальное (повсеместное) загрязнение почв металлами и металлоидами планете не угрожает. Об этом свидетельствует сопоставление общего содержания их в верхних слоях почвы и содержания подвижных соединений этих элементов с потоком их из атмосферы в биосферных заповедниках. Экологическая опасность глобального масштаба связана с дальним переносом газов антропогенного происхождения, в частности диоксида серы, и последующего их выпадения на земную поверхность.

Подсистемой глобального мониторинга является **фоновый мониторинг**. Как и фоновый мониторинг, глобальный мониторинг проводится в та-

ких же условиях, как и фоновый мониторинг. Различия между этими двумя видами мониторинга состоят в использовании полученных данных: результаты фонового мониторинга используются как вспомогательные при проведении локального и регионального мониторинга.

Цель фонового мониторинга – получение сведений об эталонах окружающей среды и выявление тенденции изменения их на фоновом уровне. Но в современных условиях общепланетарного загрязнения фоновые территории понимаются не как зоны отсутствия антропогенного воздействия, а как территории с проявлением такого воздействия в минимальной степени. Фоновый уровень содержания химических элементов в природных средах формируется как сумма естественного их содержания почвах, а также их поступления за счет дальнего переноса. В качестве эталонов окружающей среды выбираются территории, в наименьшей мере подверженные локальному и региональному загрязнению.

Многие методические вопросы фонового мониторинга не решены. Так, на практике под фоновым чаще всего понимают содержание химических элементов в природных комплексах, удаленных от источников загрязнения. Но, как уже стало ясно, в природных объектах фоновых территорий обнаруживаются многие вещества, созданные человеком и несвойственные природе, что это свидетельствует об их дальнем переносе. Таким образом, так называемые “фоновые” показатели содержания загрязняющих веществ в реальности оказываются, по-видимому, несколько завышенными.

Забегая вперед, отметим, что предлагаемый нами подход к изучению археологических памятников как памятников природы и объектов почвенно-экологического мониторинга позволяет в некоторой степени решить эту проблему (Иванов, Дергачева, Кузнецов, 1971; Махонина, 1997). Дело в том, что под древними захоронениями (курганами) сохраняется до настоящего времени “законсервированный” участок палеоландшафта, сформированного еще в доиндустриальную эпоху. Такие почвы надежно изолированы от последствий

атмосферного переноса поллютантов мощными (до 10 метров) насыпями, чего лишены почвы дневных поверхностей, включая и почвы биосферных заповедников. Уровень накопления загрязняющих веществ в погребенных почвах, на наш взгляд, будет отражать реальное и объективное их фоновое содержание.

Региональный и локальный мониторинг. Назначение локального и регионального мониторинга – это выявление влияния деградации почв на экосистемы локального и регионального уровней и непосредственно на условия жизни человека в сфере его природопользования.

Локальный мониторинг предполагает контроль за локальным накоплением в природных средах загрязняющих веществ, опасных для человека. Он предусматривает сбор и анализ первичной информации о загрязнении отдельных природных сред в конкретной местности под влиянием конкретного источника загрязнения и определенного вида его воздействия (загрязнение воды, воздуха или почв вблизи предприятия, стройки или мелиоративной системы). Размер территории, подлежащей контролю, измеряется, как правило, десятками километров.

Локальный мониторинг проводится в небольших городах, в плотно заселенных районах с высокой производственной насыщенностью, подверженных воздействию промышленных предприятий, ТЭЦ, АЭС, газопромыслов и других видов производств. Технология этих производств определяет соответствующий состав выбросов и их комплексный характер. Это позволяет выявить приоритетные загрязняющие вещества, за которыми ведутся наблюдения по программам любого уровня мониторинга.

В рамках локального уровня мониторинга созданы пункты и сеть пробобора, определена периодичность наблюдений за состоянием окружающей среды, сроки выдачи информации, для всех этапов сформулированы общие требования. По результатам контроля в случае опасности молено приостановить производство, ликвидировать аварийную ситуацию.

Региональный мониторинг проводится на территории, измеряемой несколькими сотнями и тысячами квадратных километров в крупных регионах, как правило, одного государства. Он может быть и международным и проводиться на территории нескольких государств, объединенных общими природными условиями (например, внутреннее море и его побережье).

Основная задача регионального мониторинга: получение полной и детальной информации о состоянии окружающей среды региона и воздействии на нее антропогенного фактора, что невозможно сделать в рамках мониторинга любого другого уровня, которые не учитывают особенности каждого региона.

Региональный мониторинг имеет дело с влиянием человека на природную среду в ходе его обычной производственной деятельности, при взаимодействии человека с природной средой во всех его проявлениях (распашка, разведение и вырубка лесов, градостроительство, транспорт, промышленное производство, энергетика, сельское хозяйство и пр.).

На этом уровне накапливается, обрабатывается и анализируется вся информация, поступающая от всех локальных пунктов слежения за состоянием окружающей среды. На основе комплексного анализа вырабатываются прогнозы развития ситуации и рекомендации по принятию решений для органов охраны природы.

Иногда выделяют еще самый низкий уровень мониторинга – *мониторинг источников загрязнения* (точечный мониторинг). Мониторинг источников загрязнения может быть частью подсистемы локального мониторинга, но может быть чисто технологическим. Это постоянные или эпизодические наблюдения за конкретным объектом-источником реального или потенциального загрязнения и регистрация уровней содержания загрязняющих веществ в зоне воздействия источника загрязнения. На практике, в случае почвенного мониторинга, речь как правило идет об отборе единичных почвенных образцов в санитарно-защитной зоне предприятия.

При мониторинге источников загрязнения определяется перечень подлежащих контролю веществ в соответствии со специализацией предприятия и конкретного состава его выбросов. Установление лимитов на выброс сводит этот вид мониторинга к контролю за соблюдением этих уровней, а также к изучению путей распространения загрязнения с учетом особенностей территории.

ОБЪЕКТЫ ПОЧВЕННОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Объекты наблюдения при проведении почвенного экологического мониторинга должны обеспечить выявление различных видов и уровней неблагоприятных изменений состояния почв, вызванных проживанием людей на земле и всеми видами их хозяйственной деятельности при обязательном учете специфических природных условий, влияющих на последствия антропогенного воздействия; они должны обеспечить возможность оценки изменения состояния антропогенно нарушенных почв в пространстве и времени.

Перед проведением собственно мониторинговых исследований почв необходимо провести анализ всех антропогенных факторов, способных влиять на состояние почв и экосистемы в целом (уплотнение почв тяжелой техникой, интенсивная эксплуатация почв и утрата почвами элементов питания, загрязнение почв, вод, атмосферы твердыми, жидкими, газообразными отходами и прочее). Такой анализ позволит определить вид планируемого экологического мониторинга, с чем сопряжен перечень показателей состояния почв, определение которых целесообразно для данного вида мониторинга, и выбор пробных площадей, почвы которых отражают нарушения в экосистеме и их последствия.

Перечень пробных площадей при мониторинге почв должен обязательно включать природные аналоги техногенно измененных ландшафтов или ландшафты в минимальной степени измененные антропогенными факторами (фоновые территории). Без исследования почв минимально нарушенных че-

ловеком ландшафтов (ненарушенных ландшафтов в настоящее время практически нет), невозможно оценить размер антропогенной деградации почв и ландшафтов в целом. Состояние почв на таких территориях необходимо оценивать при всех видах мониторинга.

Таким образом, объектами наблюдения при мониторинге, проводимом на всех уровнях, являются:

- ненарушенные (или минимально нарушенные) природные (заповедные) экосистемы;
- частично трансформированные естественные экосистемы;
- собственно антропогенные, преобразованные человеком техногенные ландшафты, полностью утратившие природные черты, которые можно называть искусственными (сведена растительность, загрязнены воды, почвы).

ПОКАЗАТЕЛИ ПОЧВЕННОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Почвенные показатели, отражающие их экологическое состояние, т. е. взаимосвязь с сопредельными средами и влияние на живые организмы, называют индикаторами мониторинга. Они информативны также при оценке устойчивости экосистемы в отношении того или иного вида деградации.

Общие требования к индикаторам почвенного экологического мониторинга следующие:

- информативность в отражении состояния почв как компонента экосистемы;
- чувствительность к смене экологической обстановки;
- доступность методов аналитического определения;
- правильность и воспроизводимость результатов их аналитического определения, обеспечивающие сопоставимость данных.

При разных видах деградации почв (загрязнение, опустынивание, засоление, эрозия и т.д.) показатели почвенного мониторинга будут различными.

Наибольшее внимание в настоящий момент уделяется, как правило, контролю загрязнений.

Показатели состояния почв, определяемых при контроле загрязнения почв. Среди контролируемых показателей состояния загрязнения почв (индикаторов) различают две группы: биохимические и педохимические показатели.

К *биохимическим* относят показатели, характеризующие аккумуляцию в почвах самих загрязняющих веществ и возможность их непосредственного негативного влияния на живые организмы. К этой группе относят следующие показатели:

1. *Показатели содержания подвижных форм химических элементов.* В данном случае речь идет о содержании соединений загрязняющих веществ, обладающих как реальной подвижностью (вещества в почвенных растворах, в лизиметрических водах, в вытяжках, имитирующих состав тех и других), так и непосредственно связанных с ними потенциально подвижных соединений этих же веществ в составе твердых фаз почвы. Содержание последних характеризует способность загрязняющих веществ переходить в вытяжки разбавленных кислот, растворов солей и комплексообразователей.

К подвижным формам химических элементов относятся компоненты гетерогенной почвенной системы соединений химических элементов, а именно вещества почвенного раствора, а также соединения, входящие в состав твердых фаз почвы, которые находятся в состоянии динамического равновесия с химическими элементами почвенного раствора. Удерживаются они твердыми фазами почв в результате реакций сорбции-десорбции, осаждения-растворения, ионного обмена, комплексообразования. В качестве экстрагента применяются слабо солевые растворы, с ионной силой, близкой к ионной силе природных почвенных растворов.

Показатели подвижных форм химических элементов очень важны, так как только такие соединения могут усваиваться растениями. Именно содер-

жание подвижных соединений элементов в составе твердых фаз почвы характеризует потенциальную опасность этих веществ для экосистемы, способность веществ переходить из почв в растения, в почвенные и грунтовые воды.

2. Показатели общего (валового) содержания в почве контролируемых химических элементов. Они характеризуют общее содержание загрязняющих веществ, суммарный запас в почвах всех соединений этих элементов природного и техногенного происхождения. Точное определение общего содержания химических элементов в почвах трудоемко, так как требует полного разложения алюмосиликатов, удерживающих значительную часть этих элементов, особенно в незагрязненных почвах (сплавление пробы, разложение кислотами с участием плавиковой кислоты).

При оценке состояния загрязненных почв общее содержание химических элементов является показателем менее информативным, чем, например, при оценке загрязнения воды или воздуха. Это один из исходных показателей, но он не всегда имеет первостепенное значение. Существует достаточно много данных и сводок о природном уровне общего содержания разных химических элементов (Hg, Pb, Cd, As, Zn, Си и др.) в почвах мира, установлены особенности регионального фоновое содержание многих элементов. Выявлены закономерности изменения этого уровня в зависимости от гранулометрического состава и гумусированности почв, от их реакции, от содержания элементов в почв о образующих породах, геоморфологического положения почв и других факторов. Анализ загрязненных почв позволяет оценить вклад техногенных факторов, таких как расстояние от источника загрязнения, состав и свойства отходов, содержащих загрязняющие вещества.

3. Показатели, характеризующие содержание кислоторастворимых соединений контролируемых элементов. С расширением экологического контроля состояния почв все шире стали применять, как менее трудоемкие, методы определения содержания кислоторастворимых соединений (1н. HCl,

1 н. HNO_3). Нередко им стали присваивать название “условно-валовое содержание химических элементов”. Применение в качестве реагентов разбавленных растворов минеральных кислот не обеспечивает полного разложения пробы, но позволяет перевести в раствор основную часть соединений химических элементов техногенного происхождения.

Для анализа чаще всего используют верхние горизонты почвы, а также подстилку или дернину (0-5, 0-10, 0-15 см). Верхние горизонты почв играют роль геохимического барьера на пути потока веществ, поступающих из атмосферы, именно эти горизонты в большей степени накапливают загрязняющие вещества. Эффективность этого барьера зависит от свойств почв и от природы самого вещества, его способности поглощаться почвой. В условиях же промывного режима загрязняющие вещества могут проникать вглубь и накапливаться также и в иллювиальных горизонтах, которые тоже служат геохимическими барьерами. Сведения о состоянии загрязненных почв могут быть использованы для сопоставления их с незагрязненными.

К *педохимическим показателям* относят те свойства почв, изменение которых может быть вызвано загрязняющими веществами и которые могут косвенно отрицательно влиять на живые организмы. Это показатели состояния почв, которые проявляют связь непосредственно с соединениями загрязняющих веществ в почвах, но сами таковыми не являются. Их называют еще косвенными. Свойства почв, которые характеризуют эти показатели, могут изменяться под влиянием загрязняющих веществ и тем самым вызывать ухудшение состояния микроорганизмов и растений, их изменение вызывает в почвах превращения соединений загрязняющих веществ, которые влияют на их токсико-экологические свойства. Если прямые показатели загрязнения информативны при оценке выполнения почвами их защитных функций в экосистеме, то косвенные показатели в большей мере отражают способность почв обеспечивать плодородие.

Контроль косвенных показателей химического загрязнения может быть эффективным как при выявлении деградации почв, так и при характеристике устойчивости почв к загрязнению и прогнозе последствий загрязнения почв.

К педохимическим показателям относятся показатели важнейших химических свойств почв:

- показатели гумусного состояния почв;
- показатели кислотно-основных свойств;
- показатели катионно-обменных свойств,
- показатели окислительно-восстановительных свойств почв.

Изменение гумусного состояния загрязненных почв по сравнению с незагрязненными почвами непосредственно связано с ухудшением состояния микробоценоза, что может приводить к ослаблению разложения органических остатков и к их накоплению. Вследствие изменившихся процессов трансформации органических веществ в почве меняется их групповой и фракционный состав. Есть данные о понижении общего содержания углерода подзолистых почв при загрязнении металлами. В почвах, загрязненных нефтью, наблюдается увеличение общего содержания органического углерода, относительное уменьшение количеств гуминовых и фульвокислот, возрастание содержания нерастворимого остатка.

С загрязнением почв может быть связано изменение их кислотно-основных свойств. Причиной могут быть кислотные осадки, действие которых на биосферу проявляется в глобальном масштабе. Уровень pH осадков, в естественных условиях равный 5 и более, в техногенной зоне снижается до 4,2-4,5. Подкисление почв может быть вызвано поступлением оксидов металлов и их кислотного гидролиза, внесением физиологически кислых удобрений. За счет этих процессов меняются уровни pH H₂O, pH KCl, обменной и гидролитической кислотности. Изменение кислотно-основных условий существенно меняет многие химические процессы в почве.

Загрязнение нефтью или металлами ведет к уменьшению легкорастворимых соединений азота, меняется состав обменных катионов: увеличивается доля ионов металлов, снижается содержание обменных катионов Ca^{2+} и Mg^{2+} , возможно уменьшение емкости катионного обмена (ЕКО). В почвах нефтегазоносных районов появляются легкорастворимые соли, увеличивается рН почвенного раствора, а в составе ППК повысилась доля обменного натрия.

Мониторинг состояния экосистем, подверженных опустыниванию.

Необходима комплексная организация мониторинга всех показателей опустынивания: климатической, почвенной, растительной, гидрологической и геоморфологической. Этому требованию отвечает выбор индикаторов опустынивания. Выделяются следующие группы индикаторов опустынивания: *физические индикаторы* (количество пыльных и песчаных бурь, изменение параметров грунтовых вод, степень и формы развития процессов эрозии и дефляции, изменение стока паводковых вод и объема твердого стока и др.); *биологические индикаторы* (соотношение растительных видов; соотношение ксерофильных и мезофильных видов; степень проективного покрытия растениями поверхности почвы; биологическая продуктивность и урожай, численность животных, структура популяций и др.); *социальные индикаторы*: (системы землепользования, структура расселения, биологические параметры населения и др.)

Важнейшей группой являются *почвенные индикаторы опустынивания*. Это, прежде всего: анализ водной вытяжки – процент плотного остатка, содержание хлора, натрия, суммы токсичных солей. Важное значение имеет глубина солевого профиля, химизм засоления, а также “стандартные” показатели: гранулометрический состав почв, кислотность, содержание гумуса, содержание подвижных элементов питания. Немаловажны физические параметры таких почв: полевая влажность, гигроскопическая влажность, влагоемкость, объемный вес и некоторые другие.

Мониторинг состояния пастбищных почв. Наибольшее значение этот вид мониторинга имеет в горных районах, где преобладает скотоводческое (пастбищное) направление. Почвы высокогорных пастбищ оказываются наиболее уязвимыми и легко поддаются дальнейшим процессам деградации: склоновой эрозии, денудации. Поэтому контроль состояния горных экосистем – обязательный элемент контроля состояния природной среды в горных условиях.

Наличие дернины у почв и пастбищ и ее состояние — легко определяемый морфологический признак почв, поэтому его удобно использовать при оценке состояния почвенного покрова пастбищ. В целом набор показателей почвенно-экологического мониторинга пастбищ (в том числе – горных) следующий: видовой состав, запасы и структура фитомассы; проективное покрытие; наличие подстилки (степного войлока) и ее мощность; задернованность поверхности почвы; плотность почвы; структурное состояние почвы (содержание агрономически ценных агрегатов и их водопрочность); содержание, запасы и состав гумуса; содержание элементов питания (N, P, K); мощность гумусового горизонта; наличие линейных эрозионных форм и их размеры.

Ирригационно-мелиоративный почвенный мониторинг. Этот вид мониторинга направлен на контроль состояния орошаемых земель. Основные задачи службы мелиоративного контроля следующие: оценка мелиоративного состояния орошаемых земель, эффективности мелиоративных мероприятий, достоверности почвенно-мелиоративных прогнозов и расчетов, прогноз направленности почвенно-мелиоративных процессов, разработка эксплуатационных, гидротехнических и других мелиоративных мероприятий, обеспечивающих устойчиво высокое плодородие почв.

Ирригация земель приводит к изменению всего природного комплекса: рельефа, подземных, грунтовых, речных и коллекторно-дренажных вод, почв и растительности. Наибольшее воздействие на орошаемых массивах на поч-

вы оказывает вода. Именно избыток воды и ее неудовлетворительное качество вызывают подъем уровня грунтовых, засоление, осолонцевание, подтопление и переувлажнение орошаемых и прилегающих к ним массивам.

Почвенными индикаторами ранней диагностики служат показатели: влажность; щелочность почвы; плотность почвы в пахотном и подпахотном слоях; пористость почвы; водно-солевой состав и некоторые другие. При краткосрочном мониторинге список индикаторов пополняется рядом показателей: солонцеватость, содержание доступных растениям элементов питания (легкогидролизуемый и нитратный азот, подвижный фосфор, обменный калий). Наиболее трудоемким является определение долгосрочных показателей: содержание, запасы и качественный состав гумуса, структурное состояние в пахотном и подпахотном слоях, состав обменных оснований, содержание карбонатов и гипса, минералогический состав.

На орошаемых территориях применяются повышенные нормы удобрений, пестициды, поэтому для контроля биологической активности почвы рекомендуют периодически определять нитрификационную способность почвы и общее число микроорганизмов. Одним из основных показателей производительной способности почвы является урожайность сельскохозяйственных культур.

В случае, когда почвы подвержены не одному, а нескольким видам деградации, применяется *интегральная оценка* степени деградации почв.

Комплексные виды локального и регионального почвенного мониторинга направлены на выявление экологических последствий комплексной деградации почв, в основе которой лежат либо процессы деградации физических свойств почв, которые неизбежно сопровождаются деградацией их химических свойств (опустынивание, выбивание почв), либо начинаются с деградации химических свойств, которая влечет за собой изменения физических свойств (деградация орошаемых почв), что может отражаться и на их морфологических свойствах, на классификационном положении почв.

Универсальные виды локального и регионального почвенного мониторинга позволяют получить интегральную оценку деградации почв, в основе которой лежит либо состояние почвенного микробоценоза, либо производственная оценка качества почв, либо ее “внешний вид сверху”, характеризующий большие территории.

АГРОХИМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПОЧВ

Задачу особого вида мониторинга почв – агрохимического мониторинга, составляет контроль обеспеченности почв питательными элементами для растений. В него входит контроль обеспеченности почв подвижными формами азота, фосфора и калия, микроэлементами, мониторинг гумусного состояния.

Для целей агрохимического мониторинга были разработаны, апробированы и унифицированы методы определения содержания элементов питания в почве. Большинство этих методов зарегистрировано в форме государственных стандартов (ГОСТов), что позволило получать сравнимые результаты.

На основе полученных результатов проводится оценка почв по содержанию основных элементов питания – азота, фосфора и калия (N, P, K), с учетом группировки по содержанию подвижных форм азота, фосфора и калия составляются картограммы обеспеченности почв элементами питания, которые служат основой для рациональной корректировки уровня эффективного плодородия внесением удобрений.

Важным этапом агрохимического мониторинга является выполнение балансовых расчетов с учетом выноса химических элементов с урожаем. На основе этого рассчитываются дозы минеральных и органических удобрений для восполнения выноса элементов питания растений и поддержки эффективного плодородия почв на необходимом уровне.

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ НОРМИРОВАНИЕ

КАЧЕСТВА ЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВ

Задачей экологического мониторинга является оценка состояния окружающей среды на основе регулярных наблюдений. Шкалой оценки при этом являются нормативы качества окружающей среды. В настоящее время существует две основные группы подхода к оценке состояния окружающей среды: *антропоцентрический и экосистемный*. В первой из них за нормальную принимают среду, обеспечивающую требуемое качество жизни человека, это так называемое *санитарно-гигиеническое* нормирование. Экосистемные же подходы ставят перед собой целью *экологическое нормирование* – сохранение экосистемы, ее структуры и функционирования. Согласно таким подходам, нормальной следует считать такую экосистему, в которой значимые антропогенные нарушения отсутствуют во всех звеньях экосистемы. Это служит гарантией обеспечения сохранения живых организмов и жизни человека.

1. Санитарно-гигиеническое нормирование содержания в почвах загрязняющих веществ. При санитарно-гигиеническом нормировании состояния окружающей среды под нормой понимается такое состояние окружающей среды, которое не оказывает отрицательного влияния на здоровье человека. Санитарно-гигиеническим критерием качества окружающей среды служат предельно допустимые количества (ПДК) химических веществ в объектах окружающей среды. ПДК соответствуют максимальному содержанию химического веществ; в природных объектах, которое не вызывает негативного (прямого или косвенного) влияния на здоровье человека (включая отдаленные последствия).

Предполагается, что предельно допустимые количества (ПДК) химических элементов в воде, воздухе, почве, кормах, сельскохозяйственных продуктах не представляют опасности для человека, а среда, отвечающая санитарно-гигиеническим нормам, не ухудшает здоровья человека, как одного из видов живых организмов.

В настоящее время разработаны ПДК более чем для тысячи показателей содержания химических веществ в атмосферном воздухе и в воде. Для почв разработаны ПДК по значительно меньшему числу химических веществ. ПДК химических веществ для почв устанавливается не только по общесанитарному показателю, как это принято для других природных сред, а еще и по другим показателям: транслокационному, миграционному водному и миграционному воздушному, в зависимости от того, посредством чего человек контактирует с почвой: через растения, через воду или через воздух (табл. 1.4.1). Однако санитарно-гигиенические нормативы качества почв не лишены недостатков, наиболее важные из которых следующие:

- существует неопределенность в определении понятия ПДК химических веществ именно для почв – оно характеризует лишь ПДК, которая безопасна для живых организмов;
- не учтено время воздействия поллютанта;
- при установлении ПДК модулируется действие на живые организмы, как правило, одного фактора, совместное действие которых не учитывается;
- выводы, полученные на основании опытов с животными, переносятся без полного на то основания на человека;
- не учитываются генетические последствия, возможность сохранения нарушений в живых организмах под влиянием химических веществ;
- не учитываются индивидуальная, наследственная и видовая чувствительность организмов, их адаптационные возможности, биоритмы;
- не учтено, что многие поллютанты, например, тяжелые металлы, пестициды, обладают кумулятивным эффектом,
- не учитывается способность химических веществ концентрироваться в трофической цепи,
- не учитывается возможность трансформации химических веществ, их накопления на различных биогеохимических барьерах,

- не учитывается взаимодействие химических веществ: при различных видах взаимовоздействия возможно образование структур более опасных, чем исходные соединения,

- не оценивается в полной мере качество природных сред в целом, не учитываются свойства разных типов почв, их способности к самоочищению.

Таблица 1.4.1.

Предельно допустимые концентрации химических элементов в почвах (мг/кг)

Элемент	Кларк почв (Вино- градов, 1962)	ПДК	Показатель вредности			
			общесанитарный	транслокационный	миграционный водный	миграционный воздушный
Общее содержание						
Мп	800	1500	1500	3500	1500	-
V	100	120	150	170	350	-
Pb	10	32	30	35	260	-
Hg	0,01	2,1	5,0	2,1	33	2,5
Подвижные соединения						
F	200	2	-	2	-	-
Cu	20	3	3	3,5	72	-
Ni	40	4	4	4	14	-
Zn	50	23	37	93	200	-
Co	8	5	5	25	1000	-
Cr	200	6	6	-	-	-

Для ряда химических элементов были разработаны ОДК (ориентировочно допустимые количества) для почв, различающихся по важнейшим свойствам: по кислотности (почвы с очень кислой и кислой реакцией водной вытяжки – $pH < 5$, и почвы со слабокислой и нейтральной средой – $pH 5 - 7$), а также по гранулометрическому составу (песчаные и супесчаные почвы, обладающие наименьшей устойчивостью к загрязнению, и суглинистые и гли-

нистые почвы, относительно более устойчивые к загрязнению химическими веществами).

2. Биогеохимическое нормирование. В основе биогеохимического нормирования лежит медико-географический подход. Он основан на натуральных наблюдениях в таких регионах, где самой природой созданы условия избытка или недостатка тех или иных химических элементов естественного происхождения в природных средах. Эти регионы называются биогеохимическими провинциями. Предполагается, что каждому биогеохимическому ландшафту соответствует четкая взаимосвязь и взаимообусловленность пищевых цепей, которая складывалась длительное время.

Выявлена связь между недостатком или избытком ряда элементов в природных средах и состоянием живых организмов, например, кобальтом и анемией при анокальтозе; Pb, Hg, Mo – и интоксикацией; F – флюорозом и другими костными заболеваниями; Si, Zn, Mn, B – и хлорозом многих видов растений; B – и эндемическими энтеритами; I – и эндемическим зобом; Sr – и особыми формами рахита; Ni – и кожными заболеваниями; Se – и мышечной болезнью животных. Таким образом, состояние живых организмов в зоне биогеохимических провинций служит индикатором уровня содержания химических элементов в окружающей среде.

На основе этой концепции проведено районирование биогеохимических эндемий на принципах почвенно-географического и биогеохимического районирования. В результате вся территория нашей страны разделена на биогеохимические зоны: таежно-лесную нечерноземную, лесостепную и степную черноземную; сухостепную; полупустынную и пустынную; горную. В каждой из них могут быть выделены биогеохимические провинции с различным уровнем содержания в природных средах химических веществ. Особенно они отличаются над рудными телами. В биогеохимических провинциях выявлена связь между состоянием живых организмов и составом компонентов окружающей среды. Определены те концентрации химических элементов

в почвах, водах, растениях, выше и ниже которых нарушаются обменные процессы в живых организмах.

3. Статистическое нормирование. Статистический прием определения уровней допустимых концентраций химических веществ в почвах состоит в определении усредненных (наиболее распространенных) уровней содержания химических элементов в природных средах в естественных условиях.

4. Экосистемное нормирование. В настоящее время в подходах к нормированию содержания химических элементов в почвах все большее распространение получает экосистемная направленность.

Современная концепция экологического нормирования опирается на экосистемный подход. В этой концепции нет места представлениям о предельно допустимых количествах, о пороговости в изменении состояния организмов. Цель экосистемного нормирования состоит в том, чтобы сохранить природу в таком состоянии, когда все живые организмы имеют равное право на существование. Такой подход обеспечит сохранение и человека (популяции, индивидуума) как компонента экосистемы.

Теория экосистемного нормирования последовательна, но методы ее окончательно не разработаны. Не разработаны понятия о существенных и несущественных изменениях в экосистеме. Некоторые из предложений только обсуждаются.

Для выявления максимально допустимого воздействия на экосистему нужно прежде всего среди всех воздействий выявить то, которое оказывает наиболее сильное негативное действие на экосистему, которое является лимитирующим. При этом нагрузки, допустимые для самого уязвимого компонента экосистемы, принимаются как допустимые для системы в целом.

Как правило, наиболее негативным воздействием является химическое загрязнение. При экосистемном подходе нужно принимать во внимание не только токсическое действие химического вещества, но следует оценивать и

другие возможные виды нарушения экосистемы, такие как сокращение видового разнообразия, изменение отдельных групп биоты, выпадение из экосистемы видов-доминантов, изменение величины продуктивности, упрощение трофической цепи, уменьшение ассимиляционной емкости экосистемы и ее способности к самоочищению, разрушение экосистемы.

Выбор показателей, контроль которых проводится при экосистемном нормировании, зависит от того, на каком уровне организации экосистемы оцениваются изменения. Например, предлагается в качестве критериев экологического состояния экосистемы использовать показатели сохранности вертикальной и горизонтальной структуры фитоценоза, показатели завершенности круговорота веществ (конечным результатом чего является плодородие почв). В качестве показателя сохранности экосистемы можно использовать баланс гумуса в почве, который является индикатором совершенности круговорота углерода в природе.

Список рекомендуемой литературы

Гришина Л.А. Оптимизация и проведение исследований для почвенного экологического мониторинга / Л.А. Гришина, Г.Н. Копчик, Л.В. Моргун. – М. : МГУ, 1991. – 93 с.

Мотузова Г.В. Почвенно-экологический мониторинг / Г.В. Мотузова. – М. : МГУ, 2001. – 86 с.

Мотузова Г.В. Экологический мониторинг почв / Г.В. Мотузова, О.С. Безуглова. – М. : Академический проект, 2007. – 237 с.

Глава 2.

Время и почвообразование: состояние изученности проблемы

ВРЕМЯ В СИСТЕМЕ ФАКТОРОВ ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ

Основоположник генетического почвоведения В.В. Докучаев не отделял время от других факторов-почвообразователей:

"Почва – это результат совокупного, весьма тесного векового взаимодействия между водой, воздухом и землей (материнской горной породой, иначе подпочвой) с одной стороны, растительными и животными организмами и возрастом страны – с другой, этими ответными и поныне действующими почвообразователями" (Докучаев, 1936).

Тем не менее, несмотря на более чем вековую историю этого вопроса, до настоящего момента не существует однозначного определения времени в системе факторов-почвообразователей, эта тема и поныне остается дискуссионной. Ряд исследователей: А.А. Роде (1972), И.П. Герасимов (1976), В.А. Ковда (1973), А.Н. Геннадиев (1986, 1990) и других предложили точку зрения о времени как о множителе: время не есть самостоятельный фактор почвообразования, оно не является ни источником вещества, ни источником энергии – оно не может непосредственно изменять характер почвообразования.

Такой подход в целом укладывается в классическую схему: факторы почвообразования → свойства почв. В настоящее время более точной считается несколько модифицированная схема: факторы почвообразования → элементарные почвенные процессы (ЭПП) → свойства почв (Герасимов, 1976), которая наиболее адекватно объясняет соотношение особенностей почвообразования. Все факторы почвообразования не отделимы от времен-

ной и пространственной характеристик, из которых они складываются, только время, в отличие от пространства, – величина векторная. Точное соответствие факторов почвообразования со свойствами почв может быть достигнуто лишь при условии равновесия почв с ЭПП, что в реальности достигается редко – из-за нехватки времени или малой интенсивности действия ЭПП. Поэтому в почвах часто фиксируются реликтовые свойства, унаследованные от предшествующих стадий почвообразования или от почвообразующих пород (Гаджиев и др., 1988).

Некоторыми авторами, в том числе зарубежными, была предпринята попытка связать время и другие факторы почвообразования (Иенни, 1948; Дюшафур, 1970; Рикфлекс, 1972; Duchaufour, 2001 и др.) рассматривая все пять факторов почвообразования как независимые переменные, определяющие почвенную систему, а сам процесс почвообразования – как функцию от этих переменных: $F = f(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5)$, где F – процесс почвообразования; $(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5)$ – факторы почвообразования. В этом случае время действительно становится равноправным и сопоставимым членом системы факторов.

Саморазвитие почв. Модели развития. В качестве аргумента в защиту времени как самостоятельного фактора часто приводится понятие саморазвития почв. Под саморазвитием ("собственно саморазвитием", "малым циклом жизни почвы", "аутоэволюцией") понимают процесс почвообразования, который протекает независимо от изменения внешних факторов, кроме времени (Геннадиев, 1990). "Саморазвитие (аутоэволюция) – развитие почв, вызванное изменением почвенных свойств под влиянием процессов, протекающих в самой почве... под влиянием факторов, находящихся в квазистационарном состоянии" (Соколов, 1984).

В ходе развития (или саморазвития) почва может:

а) достигнуть климаксного состояния и в дальнейшем ее развитие не идет (Иенни, 1948; Дюшафур, 1970; Герасимов, 1968, 1976; Геннадиев, 1990; Duchaufour, 2001);

в) этот процесс бесконечен и продолжается до тех пор, пока остается стационарным состояние независимых от почв факторов почвообразования (Докучаев, 1936; Ковда, 1973; Роде, Смирнов 1972; Таргульян, Соколов, 1984; Александровский, 1984 и др.).

По первой модели (*модели моноклимаксности*) почва, развитие которой начинается с эрозии материнской породы, подвергаясь непрерывному воздействию со стороны почвообразующих факторов, достигает климаксного состояния, т.е. равновесия между климатом и растительностью. В этом состоянии почвы являются полностью сформированными и становятся практически независимыми от типа материнской породы. Несмотря на непрерывный биологический и геологический кругооборот веществ и энергии, климаксные почвы остаются практически неизменными в течение продолжительного времени (Дюшафур, 1970), соответствующего так называемым коротким биоклиматическим циклам. В течение же продолжительных циклов, соответствующим миллионам лет, направленность почвообразовательных процессов может многократно меняться (Duchaufour, 1991).

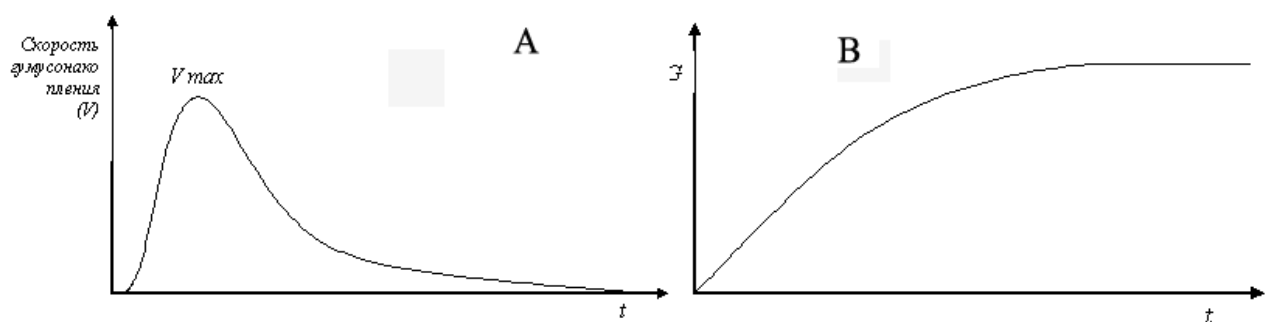


Рис. 2.1. Развитие почв согласно моноклимаксной теории почвообразования (А - зависимость скорости почвообразования от времени, В – развитие почвенных свойств во времени).

Действительно, вначале на голой материнской породе скорость гумусонакопления, ввиду отсутствия растительности, невелика. Затем, по мере

приближения к климакскому состоянию, скорость почвообразовательных процессов стабилизируется и потом падает до нуля.

Период собственно почвообразования можно назвать “относительным возрастом” (“периодом почвообразования”, “характерным временем”), а период от начала почвообразования до современного состояния – “абсолютным возрастом” (“квазиравновесным” или “климаксным”). Модель моноклимаксности встречается с серьезными проблемами: она подразумевает либо полную обратимость всех процессов в климаксовой почве, либо возможность бесконечного накопления количественных изменений в почве без периодических качественных изменений.

Другая модель (*модель поликлимаксности*) рассматривает процесс эволюции почв как последовательную смену разных типов почв без каких-либо внешних стимулов. Эволюция почв рассматривается в виде лестницы, в которой процесс саморазвития (качественные изменения) сменяется стадиями климакса (количественные изменения). Каждая ступенька – это определенный тип почв, который представляет собой ее временное климаксное состояние (Соколов, 1984). График развития почв во времени в этом случае будет выглядеть следующим образом:

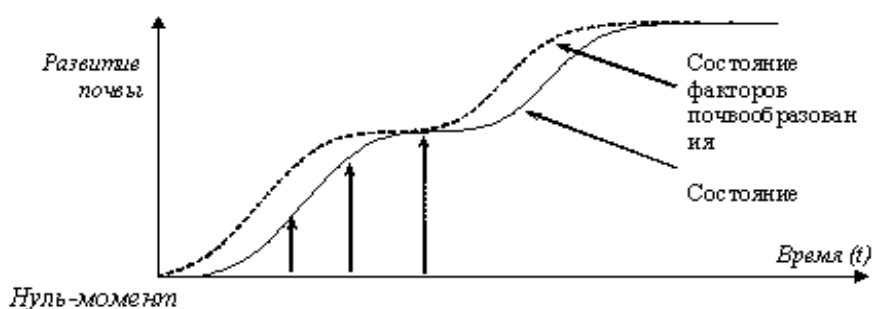


Рис. 2.2. Развитие почв согласно поликлимаксной теории почвообразования.

В настоящее время широко известны примеры таких переходов (Александровский, 1984, Александровский, Чичагова, 1998), получены данные о полигенетичности значительной части (большинства) естественных почв

Земли, что обязывает применять историко-эволюционный подход при изучении их генезиса и географии. Такой подход еще более необходим в понимании процессов и скорости изменения свойств антропогенно нарушенных почв.

Концепция И.А. Соколова о ступенчатости эволюционного процесса также сталкивается с проблемами. На самом деле квазиравновесных состояний почв не существует, что признает и сам автор (Соколов, 2004). Кривая развития имеет ступенчатый характер лишь по отношению к классификационным представлениям, но не является ступенчатой в морфологическом плане (Геннадиев, 1986). При формировании почвенных признаков наблюдается постепенное поступательное развитие профиля во времени, но скорость почвообразования никогда не падает настолько, чтобы можно было выделить климаксные состояния (Duchaufour, 2001).

В.Р. Вильямс (1950) выдвинул гипотезу бесконечного циклического развития почв, характерного для почвенного покрова всей Земли: пустынный процесс → подзолистый → дерновый → степной → пустынный → подзолистый и т.д. Эта гипотеза не нашла практического подтверждения.

Применение историко-эволюционного подхода потребовало выработки своего терминологического аппарата. Среди основных терминов, соответствующих разделу “почвообразование и время”, можно выделить следующие: динамика, эволюция саморазвития; возраст почв: суммарный, конечный, частный, измеренный и др.; хроноряды почв: дневных, погребенных, новообразованных и др. (Иванов, 1992); почвообразовательные процессы: обратимые, необратимые, направленные и др. (Соколов и др., 1984); макропроцессы, формирующие почвенный профиль в целом; элементарные почвообразовательные процессы (ЭПП), формирующие различные признаки профиля; микропроцессы (Александровский, 1984); педогенез, саморазвитие (моногогенез), собственно эволюция (полигенез) (Таргульян и др., 1984) и др.

Важное место занимают понятия абсолютного и относительного возраста почв.

АБСОЛЮТНЫЙ ВОЗРАСТ ПОЧВ

Абсолютный возраст – это период от начала почвообразования до нынешнего момента. Приверженцами поликлимаксной модели было предложено различать (по Таргульяну, Соколову, 1984):

- полный абсолютный возраст (суммарный): от начала почвообразования на месте;
- частный (конкретный): возраст отдельных этапов (стадий).

Абсолютный возраст современных почв определить достаточно сложно. Это связано с тем, что климаксная почва не является инертной системой, а находится в динамическом состоянии – в ней происходит непрерывный обмен веществом, энергией и информацией. Поэтому в большинстве случаев приходится пользоваться косвенными показателями. Возраст почвы можно установить (по Дюшафуру, 1970): а) при помощи споропыльцевого анализа; б) по возрасту найденных артефактов; в) по скорости процесса выветривания, характерного для данного типа почв; г) по содержанию радиоактивного изотопа углерода C^{14} в гумусе и в карбонатном материале; д) по накоплению фосфора в верхних горизонтах, по содержанию гипса, и др. Также могут использоваться и различные узкоспециальные методы: дендрохронологический, лишенометрический, аминокислотный и другие (Демкин, 1997). Согласованные результаты могут получиться лишь при применении и сравнении разных методов.

Радиоуглеродный метод. Особую популярность приобрел способ определения абсолютного возраста по содержанию радиоактивного углерода в гумусе. Зная период полураспада C^{14} (5568 лет), можно узнать возраст гумифицированного органического вещества почвы. Этот метод позволяет определить лишь средний возраст углерода, поскольку органическое вещество

почвы находится в постоянном развитии: с одной стороны оно омолаживается за счет новых поступлений, с другой – минерализуется и исчезает. Более корректно использовать термин “радиоуглеродный возраст гумуса” (Чичагова, 1985), означающий скорость обновления углерода гумуса, которая соответствует относительному возрасту почв.

Достаточно точно абсолютный возраст радиоактивным методом можно определить, исследуя нижние горизонты, где углерод практически выведен из кругооборота. Можно сделать вывод, что абсолютный возраст большинства современных почв не превышает нескольких тысяч лет (Герасимов, 1976). В частности, почвы умеренных широт, по-видимому, существуют не более 10 тыс. лет, а вероятнее всего не более 5 - 7 тыс. лет (Ковда, 1973). Для лесостепи Восточной Европы – от 3,5 до 7,0 тыс. лет, но преимущественно 5-6 тыс. лет (Александровский, Чичагова, 1998).

Несколько лучше обстоят дела с реликтовыми почвами: можно узнать время их погребения (т.е. полного вывода из биологического кругооборота). Поэтому для ископаемых почв этот метод достаточно точен. Радиоуглеродное датирование показало результаты весьма сходные с хронологическими (до 40 - 50 тыс. лет).

ОТНОСИТЕЛЬНЫЙ ВОЗРАСТ ПОЧВ

Относительный возраст почв по моногенетической модели развития – это время, за которое происходит полное формирование почвы, характерной для данной климатической зоны. Отсчет относительного возраста в этом случае ведется с выхода материнской породы на поверхность: "Как только материнская порода вышла на поверхность и испытала действие какого-либо из факторов почвообразования, она становится почвой" (Иенни, 1948). По полигенетической модели под относительным возрастом почв понимается период от одного климаксного периода до следующего. Относительный возраст почв

можно определить как непосредственными наблюдениями за процессом почвообразования на нарушенных землях, так и радиоуглеродным методом.

Радиоуглеродные данные. И.П. Герасимов (1976) предложил в качестве показателя относительного возраста взять среднее время пребывания углерода в почве, о котором можно судить с помощью радиоуглеродных датировок биологически активного углерода, находящегося в гумусе верхних горизонтов почв. Об относительном возрасте почв этим методом можно судить лишь с большим приближением. Необходимо отметить, что эта закономерность не соблюдается в почвах, когда-либо обрабатываемых человеком из-за механического перемешивания слоев. Радиоуглеродные датировки, полученные на современных почвах, позволили выявить следующие закономерности (Герасимов, 1968):

1. Гумус современных почв широко гетерохронен, что объясняется различной биохимической устойчивостью и, следовательно, разновозрастностью различных фракций гумусовых веществ. Возраст гумуса закономерно увеличивается от верхних горизонтов к нижним.

2. Возраст гумуса в верхних горизонтах лесных почв находится в пределах от 140 - 200 лет до 500 - 600 лет; в степных почвах (черноземах) 1000 - 2000 лет. В нижних горизонтах – может превышать 4 тыс. лет (Schlichting, 1986, по Duchaufour, 2001), достигая 7 – 9 тыс. лет (Рубилин, Козырева, 1980) и даже 10 - 11 тысяч лет (Герасимов, 1968).

Различия в относительных датах для разных типов почв объясняются различной прочностью гумусовых кислот, а также более сжатым и интенсивным кругооборотом в лесных почвах по сравнению с пониженной биологической активностью в силу временных засух в степных почвах. В тундре, например, в мерзлотном слое биологический кругооборот еще более замедлен, а в тропиках этот показатель самый высокий.

СКОРОСТЬ ПРОЦЕССОВ ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ

Под *скоростью почвообразовательных процессов* можно понимать (по Александровскому, 1984): 1) время, за которое профиль формирующейся, эволюционирующей или восстанавливающейся почвы достигает квазиравновесия со средой: характерное время (ХВ) профиля, макропроцесса; 2) величину изменения отдельного признака или свойства за единицу времени (скорость ЭПП). Скорость процессов при эволюции почв на сегодня является наименее исследованной областью в генетическом почвоведении.

Скорость можно измерять в весовых процентах (химические и физические свойства), в сантиметрах (мощность горизонта, профиля), но наиболее четкие представления о скорости ЭПП дает оценка величины изменений в запасах (для многих ЭПП: аккумуляции, миграции, выветривании и др.). Такая оценка невозможна для некоторых ЭПП (изменение pH, оглеение). ХВ формирования разных признаков могут составлять от дней и месяцев до тысяч и миллионов лет (Соколов, 2004).

О скорости почвообразования можно судить по мощности гумусового горизонта. Несмотря на условность этого критерия, аналогия между временем почвообразования и темпами гумусонакопления вполне уместна по следующим соображениям (Геннадиев, 1990):

1) Гумусовые вещества - важнейший элемент гумусового плодородия, в них сосредоточена основная масса биофильных элементов в доступной растениям форме.

2) Гумус - существенный фактор структурообразования почвы.

3) Практическое удобство, выраженное в однозначной трактовке этого процесса.

ХВ процессов гумусонакопления варьирует от 100 - 200 лет у песчаных подзолов до 2 - 3 тыс. лет у мощных черноземов. Скорость образования гумусового горизонта в почвах различных климатических зон может колебать-

ся от 0,10 до 1,00 мм/год. Для черноземных почв этот показатель составляет 0,40 - 0,45 мм/год (по Геннадиеву, 1990). Для черноземов Северного Казахстана получены данные о скорости образования гумусового горизонта от 0,20 до 1,00 мм/год: таким образом почвы степи Северного Казахстана имеют возраст не менее 600 - 3500 лет (Беликбаев, 1984; Иванов, 1992).

Формирование полноразвитой гумусовой системы почв не ограничивается только ее количественными характеристиками. М.И. Дергачева (1984) выделяет среди элементарных гумусообразовательных процессов (ЭГП) также качественные показатели гумификации, ХВ которых может значительно варьировать: формирование “типовой молекулы” ГК, трансформация новообразованных гумусовых веществ (ГВ), матричное построение и обновление макромолекул; их миграция по профилю, взаимодействие ГВ между собой и с минеральной частью почв, а также деструкция и минерализация ГВ.

ИССЛЕДОВАНИЯ НА НАРУШЕННЫХ ЗЕМЛЯХ

Начальные процессы почвообразования удобно изучать на землях, на которых, по тем или иным причинам в результате деятельности человека, почвенный слой был ликвидирован и на поверхности оказалась голая материнская порода. Это могут быть промышленные отвалы, карьеры, шахты и т.д., - в любом случае процесс почвообразования начинается с нуля. Сегодня, в связи с обилием объектов исследований, он приобрел довольно большую популярность. Особенно этот метод удобен отсутствием необходимости применять сложные анализы (например – радиоуглеродного), направленных на выяснение возраста вновь образующейся почвы: возраст почвообразующих пород в этом случае практически всегда известен. Изучение времени почвообразования на различных почвообразующих породах самозарастающих отвалов горнодобывающей промышленности Урала (схема на рис. 2.3) показало, что за период до 200 лет почвообразовательный процесс в целом проходит лишь начальные стадии (Махонина, 1987, 2001, 2003 и др.).

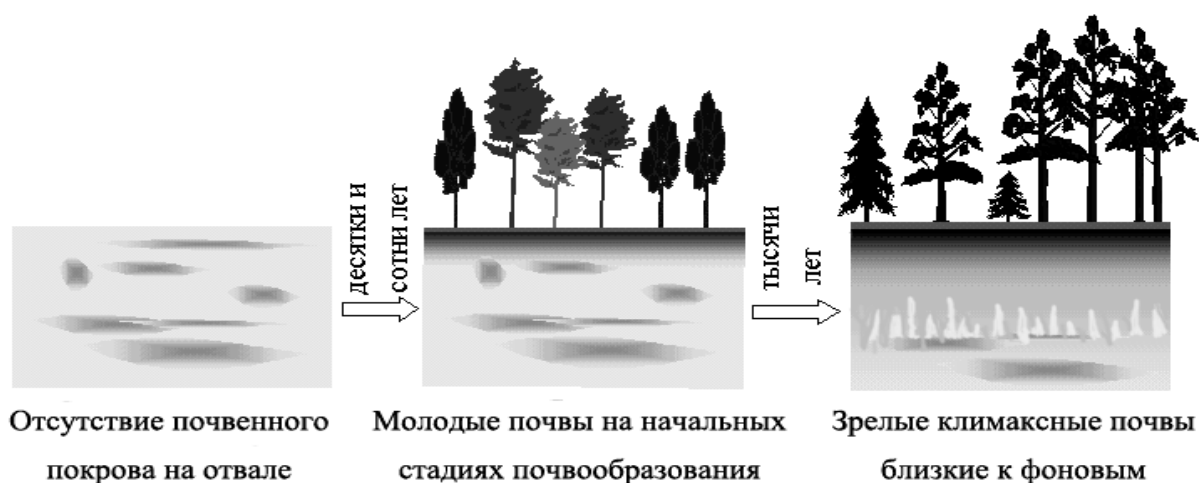


Рис. 2.3. Общая схема формирования и развития почв на отвалах горнодобывающей промышленности.

При этом темпы почвообразования в молодых почвах техногенного ландшафта значительно выше, чем в старых ландшафтах. Во многих работах (Иенни, 1948; Дюшафур, 1970; Махонина, 1989, 1990, 2003; Пикалова и др., 1981; Ужегова, Махонина 1982; Бурыкин, 1985; и др.) показано, что: а) чем моложе почва, тем интенсивнее она пытается достичь зрелого состояния; б) в разных природных зонах скорость почвообразования различна, при этом особую роль играют сезонные колебания микроклимата почвы; в) появление высших растений значительно ускоряет процесс гумусонакопления; г) скорость почвообразования зависит от скорости выветривания горных пород; д) накопление гумуса зависит от механического состава почвообразующих пород.

Таким образом, в связи с длительностью почвообразовательных процессов, на определенном этапе изучения механизмов восстановления нарушенных почв возникла необходимость в поиске более давних их нарушений. Такими объектами стали археологические памятники.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДРЕВНИХ НАРУШЕНИЙ ПОЧВ

Восстановление нарушенного почвенного покрова – длительный процесс, протекающий в течение столетий и тысячелетий. Единственный способ проследить за ходом естественного восстановления почвенного и растительного покрова за более длительный промежуток времени – изучение антропогенно нарушенных почв археологических памятников, для которых известен их абсолютный возраст.

В середине XIX - начале XX веков естествоиспытатели и почвоведы обратили пристальное внимание на археологические памятники как на благоприятные объекты для изучения генезиса и эволюции почв, на что еще указывал В.В. Докучаев. Впоследствии И. Корнис и А.Н. Криштофович одни из первых исследовали погребенные под курганами почвы и установили меньшую мощность погребенных почв; В.А. Городцовым и Д.Г. Виленским впервые предпринята попытка решения чисто археологических проблем методами почвоведения (по Геннадиеву, Иванову, 1989; Дергачевой, 1997). В 70 - 80 гг. XX века исследования, которые И.В. Иванов предложил объединить под названием “почвенно-археологические”, стали носить систематический характер, что позволило говорить о формировании в 90-е годы на стыке почвоведения и археологии нового научного направления – *археологического почвоведения* (Демкин, 1997; Дергачева, 1997). Изучение почв археологических памятников занимает важное место как в современном почвоведении, так и междисциплинарных исследованиях, позволяя решать вопросы, связанные с историей человеческого общества и его взаимоотношения с природой (Золотун, Кухтеева, 1984; Геннадиев и др., 1984; Зданович и др., 1984 и др.).

М.И. Дергачева предлагает рассматривать археологическое почвоведение как самостоятельное научное направление со своими объектом, предметом, методами, принципами и законами. Объектом археологического почвоведения при этом являются почвы местообитаний человека от древнейших

времен до нашего времени, а предметом – расшифровка информации о природной среде обитания и деятельности человека, закодированной в “памяти” почв (Дергачева, 1997).

В современном археологическом почвоведении целесообразно выделить три разных методологических подхода: а) исследование культурного слоя; б) изучение погребенных почв; в) исследование новообразованных дневных почв.

Изучение культурного слоя. Необходимость изучения культурного слоя продиктована огромной его значимостью как носителя двойственной природы: он несет информацию как об исторических процессах, так и о природной обстановке периода его образования (Иванов, 1992; Сычева, 1994). Поэтому в ходе археологических исследований крайне полезно изучать не только вещественные остатки культурного слоя (КС), но и его морфологические и физико-химические свойства.

Почвенно-экологический аспект изучения мест древних поселений связан с изменениями на таких территориях почвенного покрова, изменениями, которые всегда сопровождали деятельность человека. Следы наибольших нарушений несет в себе именно КС, формирующийся из материала исходной почвы (заполнителя, природного почвенно-литологического компонента), а также артефактов (или вещественных остатков) и следов жизнедеятельности (антропогенный компонент: по Сычевой, 1994). Некоторые авторы (Михалев, Михалева, 1997) предлагают рассматривать почвы археологических памятников в целом и, в частности, КС, как артефакты.

Культурный слой по площади может занимать до половины всех древних нарушений и до десятых долей процента площади ландшафта; мощность КС может достигать полутора метров. Мощность КС зависит от длительности функционирования объекта, от его назначения, от характера хозяйствования населения, от природных условий. По степени влияния на окружаю-

щую среду КС можно рассматривать на микро- мезо- и макроуровне (Сычева, 1994).

Изучение КС занимает важное место в системе почвенно-археологических исследований (Штобе, 1959; Детюк, Таращенко, 1959; Мерперт, Смирнов, 1960; Зданович и др, 1984; Муха, 1988; Сычева, 1994, 2004; Демкин, 1997, 2003, 2004; Дергачева, 1997; Махонина, Коркина, 2001, 2002а, 2002б; Коркина, 2001а; Герасимова, 2003; Васильева, Дергачева, 2003; Плеханова, 2004) и др. Эти и другие исследователи отмечают повышенное плодородие и высокую биологическую активность КС, связанные с его подщелачиванием, большей окарбоначенностью, высоким содержанием в нем доступных растениям соединений фосфора, калия, а также гумуса. Также для почв КС обычно характерны облегченный гранулометрический состав, пониженная плотность, бесструктурность, морфологическая неоднородность, высокая доля включений, высокое содержание карбонатов, изменение состава гумуса в сторону большей гуматности.

В.И. Ивановым была предложена концепция археологического вещества КС (как частного случая антропогенного вещества) как маркера различных почвенных, и в том числе – почвообразовательных процессов. Суть концепции в том, что продукты разрушения археологического материала (керамики, костей, древесины) являются индикаторами различных природных процессов, происходящих в почвах, позволяя оценивать их скорость, продолжительность, направленность, интенсивность (по Плехановой, Демкину, 2005).

Исследование погребенных почв. Группу исследований погребенных почв принято объединять под названием палеопочвоведение (ПЛП). Предметом ПЛП по предложению И.П. Герасимова признаны: 1) ископаемые почвы, погребенные в толще геологических осадков; 2) реликтовые признаки в профилях современных почв; 3) продукты переотложения и разрушения современных и древних почв. Объектом ПЛП названы признаки педогенеза в отложениях, которые запоминают информацию о педогенезе в любом проявлении.

нии, предметом – реконструкция закономерностей развития древних почв и педосферы на продолжении геологической истории Земли.

Данный подход к изучению антропогенно нарушенных почв позволяет проследить эволюцию почвенного покрова в голоцене, вывить климатические изменения за тот же период, получить археологическую информацию и выполнить другие задачи. Одним из первых исследователей погребенных почв стал И.В. Тюрин (1940), изучавший состав гумуса почв, захороненного в лессах и первый установивший уменьшение содержания гумуса в почвах после их погребения при неизменном его качественном составе.

Указанный подход на сегодня наиболее хорошо разработан и освящен в многочисленных работах (Александровский, 1984, 1995, 1998; Ахтырцев, Ахтырцев, 2002; Демкин, 1997, 1999; Демкин и др., 1987, 1998, 2003; Дергачева 1984, 1989, 1997, 2003; Иванов, 1978, 1992; Иванов и др., 2000, 2004; Зданович и др., 1984; Маданов и др., 1984; Геннадиев, 1986, 1990; Сычева, 1994, 2004 и др.). Не останавливаясь подробно на этих исследованиях, можно отметить, что большинство авторов указывают на зональный тип эволюции почв на протяжении всей второй половины голоцена, и в частности, – черноземный для степной зоны; изменения могли происходить только в пределах подтипа под влиянием происходивших в это время климатических колебаний. В степной и лесостепной зонах до сих пор почвоведомы и археологами исследовались главным образом погребенные почвы, в результате чего первые стадии развития черноземов, относящиеся к началу голоцена, остались наименее изученными (Возраст и эволюция..., 1988).

Среди методов ПЛП необходимо отметить (В.Тюрин, 2000; Дергачева, 1997; Демкин, 1997а): археологический, микроморфологический, минералогический, палеогеоморфологический, педогумусовый, генетический анализ профиля палеопочв и его стратиграфический анализ и другие методы. Реже используются историко-картографический, биоморфный, палеозоологический, фитолиитариевый, палеомагнитный и др.

После погребения почвы в значительной мере изменяют свои свойства. Так, степные черноземы теряют около 40 % гумуса за две тысячи лет (Золотун, 1984; Иванов, 1992) и до 50 % гумуса за четыре тысячи лет (Ахтырцев, Ахтырцев, 2002). Система гумусовых веществ при этом в значительной мере трансформируется, но соотношение основных составляющих сохраняется и может оставаться в почве практически неизменным в течение тысячелетий (Дергачева, 1984, 1987).

Изучение ископаемых почв позволяет выйти за пределы голоцена и проследить более ранние этапы становления почвенного покрова (Дергачева, 1997 и др.), в частности, – четвертичных ископаемых почв. В этом случае становится возможным в контексте общеплейстоценовых закономерностей формирования почвенного покрова дать оценку и прогноз голоценовому почвообразованию (Величко, Морозова, 1996).

Исследование новообразованных почв является еще одним подходом к изучению антропогенно нарушенных почв археологических памятников. В настоящее время в мировой литературе еще мало сведений, характеризующих время и закономерности формирования почвенного профиля от его начальных стадий до уровня зрелости. При изучении новообразованных почв археологические памятники могут служить моделями для выявления всего хода процесса почвообразования на обнаженных почвообразующих породах.

Рождением этого направления можно считать изучение В.В. Докучаевым стен Староладожской крепости еще на заре становления почвоведения (Докучаев, 1936). В дальнейшем же этот подход был несколько забыт и сегодня вновь переживает свое рождение (Геннадиев, 1990; Иванов, 1992; Махонина, Коркина, 2001, 2002а, 2002б и др.). Исследования, проведенные на подзолистых почвах средней тайги, показали, что даже по прошествии пяти тысяч лет почвы так и не достигают фоновых показателей по некоторым признакам. В последующих главах будет подробно изложены результаты подобных исследований, проведенные на черноземных почвах лесостепной зоны.

Для черноземных почв в наибольшей степени характерна длительность почвообразования, значение которых трудно переоценить как в экономическом, так и в биогеоценотическом отношении. Черноземные почвы вносят немаловажный вклад в поддержание гомеостаза планеты. С другой стороны, трудно найти природный объект, наиболее тесно связанный с историей развития и становления современной цивилизации. Уникальность свойств черноземных почв предопределила их нещадную эксплуатацию. Процессы деградации этих почв приобрели поистине глобальный масштаб.

Нарушая и разрушая почвенный покров, необходимо помнить, что формирование зрелых почвенных профилей – длительный процесс, продолжающийся в течение столетий и тысячелетий. Восстановление же естественной продуктивности почв определяется не только скоростью восстановления нарушенного почвенного профиля, но и еще более замедленным восстановлением исходных биоценозов (Добровольский, Никитин, 1990).

Таким образом, можно отметить высокий уровень интереса к тематике, касающейся эволюции почв. В то же время, в силу объективных трудностей, связанных с получением и интерпретацией данных по этому вопросу, в настоящее время остается множество неизученных сторон в данной проблеме. Наиболее дискуссионным являются вопросы о роли времени в системе других факторов почвообразования, о характере и направленности развития почв во времени, о возможности и степени завершенности этого процесса. Несмотря на трудности с определением скорости почвообразования и, в частности, гумусообразования, так или иначе все исследователи указывают на крайне медленные темпы этих процессов.

Ощутимый вклад в решение проблем генезиса почв вносит изучение археологических памятников, которые, в силу своей специфики, являются также памятниками природы. В то же время, наибольшее число публикаций по этой тематике относится к исследованию погребенных почв. Новообразованные почвы, формирующиеся на дневных поверхностях разновременных археологических памятников и позволяющие выявить динамику формирования почвенного профиля, изучены сравнительно слабо. Это предопределяет интерес к изучению таких почв в местах проживания древнего человека и оценке их современного состояния.

Рекомендуемая литература

Генезис, эволюция и география почв Западной Сибири / под ред. И.М. Гаджиева. – Новосибирск: Наука, 1988. – 224 с.

Геннадиев А.Н. Почвы и время: модели развития / А.Н. Геннадиев. – М. : МГУ, 1990. – 232 с.

Демкин В.А. Палеопочвоведение и археология: интеграция в изучении природы и общества / В.А. Демкин. – Пушкино : ОНТИ ПНЦ РАН, 1997. – 213 с.

Дергачева М.И. Археологическое почвоведение / М.И. Дергачева. – Новосибирск : СО РАН, 1997. – 228 с.

Махонина Г.И. Экологические аспекты почвообразования в техногенных экосистемах Урала / Г.И. Махонина. – Екатеринбург : Изд-во УрГУ, 2003. – 356 с.

Махонина Г.И. Скорость восстановления почвенного покрова на антропогенно нарушенных территориях (на примере археологических памятников Западной Сибири) / Г.И. Махонина, И.Н. Коркина // Экология. – 2001. – № 1. – С. 14–19.

Махонина Г.И. Формирование подзолистых почв на археологических памятниках в Западной Сибири / Г.И. Махонина, И.Н. Коркина. – Екатеринбург: Академкнига, 2002. – 264 с.

Махонина Г.И. Археологическое почвоведение в системе знаний о взаимоотношениях природы и человека / Г.И. Махонина, В.В. Валдайских // Изв. Урал. гос. ун-та. Серия 1. Проблемы образования, науки и культуры. – 2007. – Вып. 20. – С. 219–226.

Соколов И.А. Почвообразование и время: поликлиматность и полигенетичность почв / И.А. Соколов // Почвоведение. – 1984. – № 2. – С. 102-112.

Соколов И.А. Теоретические проблемы генетического почвоведения / И.А. Соколов. – Новосибирск : Гуманитарные технологии, 2004. – 288 с.

Сычева С.А. Почвенно-геоморфологические аспекты формирования культурного слоя древних поселений / С.А. Сычева // Почвоведение. – 1994. – № 3. – С. 28–33.

Прогноз развития деградированных почв

Как уже было показано в соответствующем разделе, в понятие мониторинга входит наблюдение, оценка и прогноз состояния системы после природных, антропогенных или техногенных форм их деградации. Большой интерес представляет вопрос не только о темпах эрозии почв, но и о перспективах изменения эродированности почвенного покрова, в том числе в случае прекращения воздействия на них эрозионных факторов. В настоящее время осуществлены многочисленные оценки нарушенных экосистем, неизвестен лишь в большинстве случаев ответ на один вопрос: как в дальнейшем сложится судьба деградированных почв.

Обсуждение проблематики, связанной со скоростью эволюции почв, проведенное в главе “Время и почвообразование”, показало исключительную длительность почвообразовательных процессов, которые продолжаются в течение многих сотен и тысяч лет. Поэтому в большинстве случаев человеку в ближайшем будущем не дано узнать, что будет с почвами, деградировавшими непосредственно при его участии. Будут ли они восстанавливаться после тех или иных нарушений? В каком направлении будет идти их восстановление? Сколько на это потребуется времени? Какие свойства почв будут приближаться быстрее к фоновым параметрам, а какие – дольше? В каких природных зонах восстановление почв будет идти быстрее? Ответов на эти и другие вопросы, связанные с длительными процессами почвенной регенерации, в настоящее время в большинстве случаев не существует.

Человеческая жизнь по своей продолжительности несоизмерима со временем эволюции почв. Поэтому для изучения большинства почвообразовательных процессов невозможно использовать прямое наблюдение или экспериментальные методы. Определенную помощь в разрешении таких вопросов могут принести методы моделирования, особенно в связи с бурным раз-

вити́ем компьютерных технологий. Но никакие из них по своей сложности не могут сравниться с природными механизмами почвообразования.

Учитывая указанные трудности в составлении прогноза развития деградированных почв, определенный вклад в их составление может внести изучение древних антропогенно нарушенных земель на археологических памятниках.

3.1. Древние антропогенные нарушения почв в качестве модели при долгосрочном прогнозе развития деградированных земель

Таким образом, составление прогностических оценок развития нарушенных экосистем суши, в которых почвы занимают центральное место, крайне затруднено из-за недостатка времени наблюдений за их поведением. Данное обстоятельство требует обратить пристальное внимание на уже существующие давние антропогенные и техногенные нарушения, совершенные древним человеком. Археологические памятники являются не только памятниками истории общества, но и прекрасными примерами природных процессов, в том числе – восстановительных после различных нарушений почвенного покрова. Конечно, древние нарушения не идут ни в какое сравнение с современными по своему характеру и интенсивности, кроме того они имеют локальный характер. Но общий ход восстановительных процессов, их направленность и скорость, после основных процессов деградации почв, они выявить позволяют.

В первой главе были перечислены основные виды современной деградации почвенного покрова, это: водная эрозия, ветровая эрозия или дефляция, это истощение элементов питания, дегумификация, избыточная кислотность, опустынивание, загрязнение, подтопление (переувлажнение), переуплотнение и разрушение структуры почв.

Как показывает мировой опыт изучения археологических объектов, многие из этих форм нарушений наблюдались уже в глубокой древности, а значит, у нас есть прекрасная возможность оценить восстановительный природный потенциал и в столь долгосрочной перспективе спрогнозировать последствия нынешних, гораздо более масштабных нарушений.

Действительно: переуплотнение почв было развито и в древности, связано оно было с интенсивным скотоводческим хозяйствованием древнего оседлого или полuosедлого населения. Переувлажнение, засоление почв, истощение элементов питания уже носили массовый характер у земледельцев Египта и Двуречья, широко использовавших ирригационную систему земледелия бассейнового тапа.

Загрязнение почв антропогенным веществом можно наблюдать на любых археологических объектах, связанных с длительным проживанием древнего человека, на которых выделяется культурный слой. Конечно, нельзя проводить полное соответствие между теми “загрязнителями” и современными — в век, когда глобальный характер стало принимать загрязнение экосистем в целом и почв в частности нефтепродуктами и тяжелыми металлами, когда появились ядохимикаты и синтетические материалы, когда возникли такие неведомые ранее в природе явления как кислотные дожди и радиоактивные осадки. Но, несмотря на все это, мы с полной уверенностью можем говорить об антропогенном загрязнении почв и в то далекое время.

Более того, можно найти даже техногенно нарушенные земли, датированные тремя-четырьмя тысячелетиями. Это древние рудники, в которых добывалась руда для изготовления первых металлических изделий: медь, олово, золото, серебро и некоторые другие. Такие рудники на Южном Урале и в Приуралье стали в последнее время широко известны благодаря археологическим раскопкам, ведущимся в Аркаимской долине.

Эрозия почв впервые приобрела значительные масштабы в субтропической зоне на Аппенинском полуострове, где для строительства флота в Пе-

лопонесской войне греками были сведены большие лесные массивы, что привело к смыву огромного количества плодородных почв с этой территории. Это наиболее яркий известный пример древней эрозии, на который ссылается еще Платон. В условиях, более приближенных к степи и лесостепи также есть примеры, аналогичные древним эрозионным процессам – это территории могильных комплексов, с которых изымалась почва для строительства курганов. Именно об исследованиях таких древних “эродированных” территорий, а также мест, “загрязненных” антропогенным веществом пойдет речь в последующих главах.

Таким образом, можно говорить о начале формирования нового направления в составе экологического почвенного мониторинга, которое ставит собой задачу составления долгосрочных прогнозов развития деградированных земель на основе изучения степени восстановления почвенного покрова на дневных поверхностях древних антропогенно и техногенно нарушенных почв разновозрастных археологических памятников различного происхождения.

Для почвоведов археологические памятники оказались наиболее подходящими для изучения регенерационной способности почв, в том числе эродированных, за длительные промежутки времени. Наши предки дали начало уникальному природному эксперименту, длящемуся уже несколько сотен и даже тысяч лет: после прекращения антропогенного воздействия нарушенные территории в своем дальнейшем развитии попадают под воздействие природных факторов, и мы можем наблюдать на них процессы естественного восстановления экосистем, включая и почвы (рис. 3.1.1).

Изучение таких объектов имеет важную практическую значимость в почвенно-экологических исследованиях, позволяя оценить последствия эро-

зионных, дефляционных и других форм деградации почв как природного, так и техногенного характера, значительно усилившихся в последние десятилетия. Археологические памятники могут служить моделями при изучении формирования новообразованных почв на обнаженных почвообразующих породах для выявления всего хода процесса почвообразования.

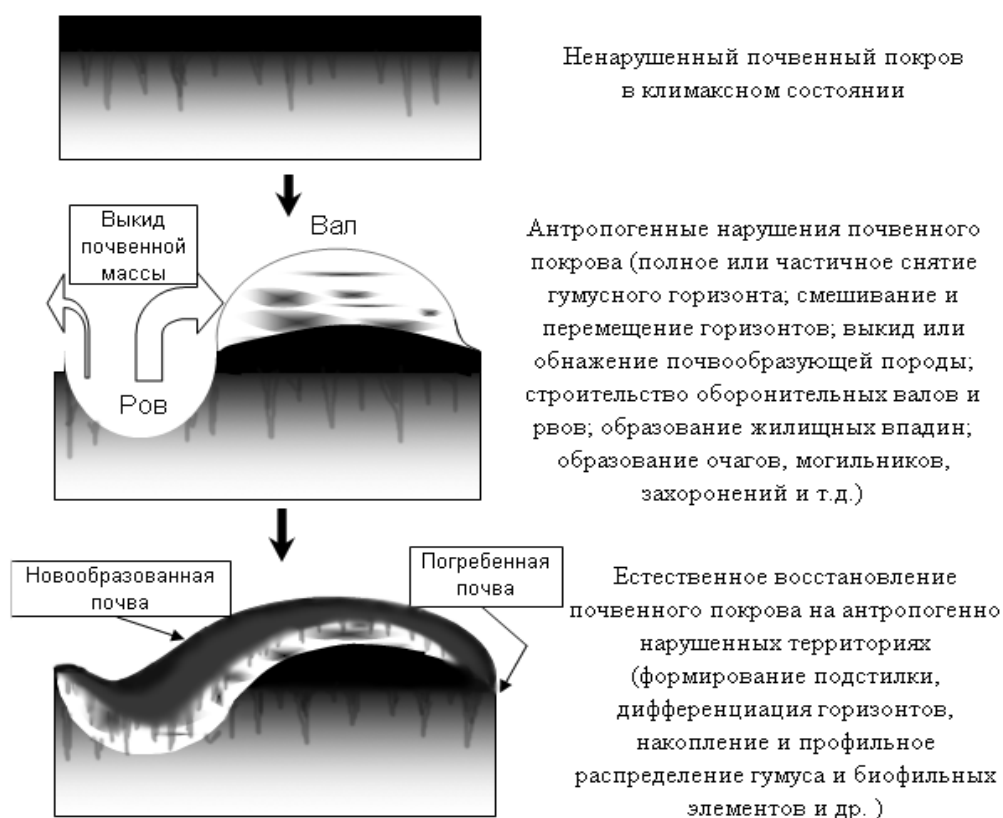


Рис. 3.1.1. Общая схема формирования новообразованных почв на оборонительных валах городищ.

В рамках этого направления исследований нами, совместно с археологами, были изучены разновозрастные почвы, сформированные в условиях лесостепи Зауралья и Западной Сибири. Это, прежде всего, памятники раннего железного века, датируемые возрастом около 2,3 - 2,5 тыс. лет: городища Павлиновское, Прыговское, Коловское, Большой Имбиряй-10; царские курганы Бабий Бугор и Скатовские, а также некоторые другие объекты, относя-

щиеся к этому времени. Кроме того, были изучены почвы памятников эпохи бронзы и средневековья.

В данной работе мы остановимся только на нарушенных почвах объектов раннего железного века. В результате их исследований было, в частности, показано, что формирующиеся на обнажениях почвообразующих пород новообразованные почвы (по сути являющиеся эродированными 2,3 - 2,5 тыс. лет назад) и в современном состоянии отличаются от фоновых черноземных почв голоценового возраста по комплексу признаков, в том числе характеризующих их плодородие. Для таких почв отмечены отличия по следующим показателям:

1. *Морфологические свойства:*

- мощность гумусовых горизонтов;
- дифференциация на горизонты;
- глубина залегания карбонатного горизонта.

2. *Агрохимическим показателям:*

- величины и распределение кислотности;
- количество доступных растениям элементов питания;
- содержание, распределение и запасы гумуса.

3. *Показатели качественного состава гумуса:*

- относительное содержание “типовой” молекулы ГК;
- величина оптических плотностей, характеризующие зрелость ГК.

4. *Гранулометрический состав почв:*

- дифференциация профиля по гранулометрическому составу;
- содержание илистой фракции в верхних горизонтах.

5. *Валовой химический состав:*

- валовое содержание биофильных элементов.

В то же время, при разных типах нарушений (в случае срезки верхних горизонтов, в случае выброса на поверхность почвообразующих пород или

при “загрязнении” антропогенным веществом) различные указанные признаки по-разному могут себя проявлять, даже при условии одинакового возраста нарушений. Ниже нами будут подробно рассмотрены некоторые наиболее распространенные типы древних нарушений почвенного покрова.

3.2. Восстановление прикурганных почв в местах древних захоронений

В первую очередь рассмотрим типы древних нарушений, при которых полностью или частично снимались верхние почвенные горизонты. Такими объектами могут служить крупные курганы или курганные комплексы, поскольку для сооружения особо крупных из них снимались гумусовые горизонты с большой площади прилегающих к ним территорий.

Для построения прогностических моделей на таким образом искусственно “эродированных” почвах представляет непосредственный интерес проследить судьбу оставшегося усеченного почвенного покрова за определенное время. Изучение таких почв имеет важную практическую значимость в почвенно-экологических исследованиях, позволяя оценить последствия современных эрозионных и дефляционных процессов, значительно усилившихся в последние десятилетия. В качестве объектов исследований нами будут рассмотрены прикурганные почвы вблизи крупнейших курганов Зауралья: курган “Бабий Бугор” и курганный могильник “Скаты”.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТОВ

Курган “Бабий Бугор”

Курган "Бабий бугор" находится в Куртамышском районе Курганской области в лесостепной зоне Западной Сибири. Представляет собой земляную насыпь диаметром около 80 м, высотой до 9,8 м (размеры приводятся в со-

временном состоянии – в древности он, по-видимому, был в 1,5 - 2 раза выше). В центральной части насыпи расположен грабительский вкоп. С северо-востока на юго-запад курган рассечен цепочкой крупных ям. Курган окружен кольцевым ровом шириной до 4,5 м, глубиной до 0,6 м, с проходом на юго-западной стороне. Края опавиваются. Имеется кольцевая

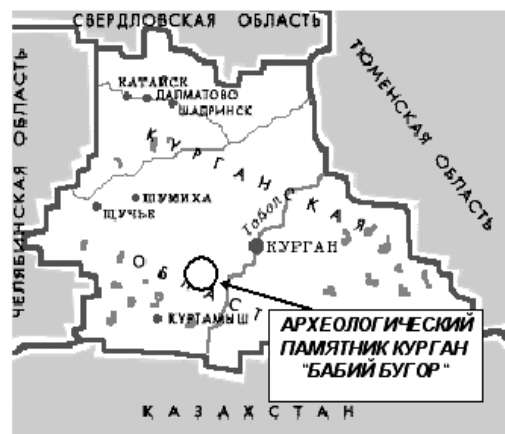


Рис. 3.2.1. Схема расположения кургана “Бабий Бугор”.

обваловка рва с внешней стороны. Предварительная датировка кургана – ранний железный век – около 2,5 тыс. л.н. (Археологическая карта..., 1993).

Древние курганы, независимо от их величины, насыпались только гумусовыми горизонтами чернозема. Археологи предполагают, что материал для сооружения древних курганов изымался из кольцевых ровиков, которые выкапывались по их радиусу и имели, кроме того, ритуальное значение. Но почвенно-грунтовой массы, изъятый из кольцевого ровика, хватит лишь на постройку небольшого кургана. Для сооружения огромного кургана, каким является курган “Бабий Бугор”, потребовалось значительно большее количество гумусированной почвенной массы, которую собирали неравномерно в радиусе до 300 м от кургана, при этом максимальные количества (слоем до 30 см) снимались на расстоянии до 100-200 м от него.

Несмотря на значительное время постантропогенной эволюции почв, все нарушения хорошо фиксируются и занимают большие площади (по нашим оценкам – примерно 36 га). Рисунок 3.2.2 обобщает расчеты, выполненные для объема курганной насыпи (V кургана), то есть объема всего перемещенного гумусированного грунта на строительство кургана, площади курганной насыпи (S кургана) и общей ориентировочной площади нарушений вокруг кургана (S нарушений) на основе имеющихся данных по его высоте и

радиусу (H и R кургана). Объем кургана рассчитан по формуле объема шарового сегмента $V=\pi h(3r^2+h^2)/6$, где h – высота насыпи, r – радиус насыпи.

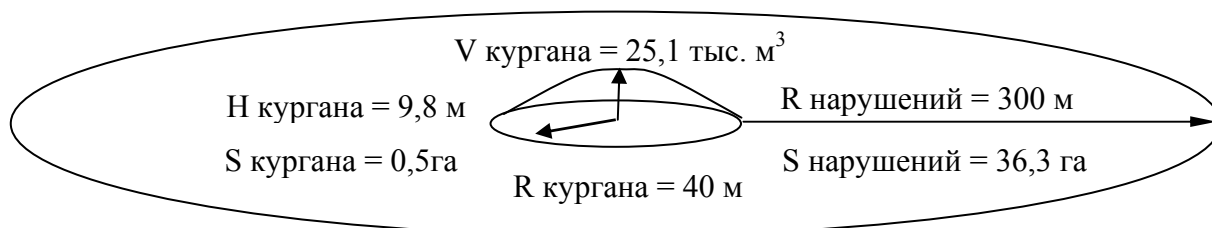


Рис. 3.2.2. Схематическое изображение кургана “Бабий Бугор” и прилегающей территории с указанием расчетных данных.

Курганный могильник “Скаты”

В могильнике Скаты, находящемся в Белозерском районе Курганской области (рис. 3.2.2), найдены 11 курганов, расположенных тремя группами. Первую из них составляют три насыпи диаметром 40-60 м и высотой до 5-7 м. Нами были обследованы два кургана, находящиеся на расстоянии 130 м друг от друга. В момент обследования прилегающая к курганам территория была распахана и засеяна пшеницей и овсом.



Рис. 3.2.3. Схема расположения курганного могильника “Скаты”.

Предварительная датировка курганов – ранний железный век – около 2,5 тыс. л.н. Также как и в случае с курганом “Бабий Бугор”, материал для их сооружения собирался с прилегающей к могильнику территории. Курганы сложены исключительно гумусовыми горизонтами черноземных почв. Нарушения, связанные с постройкой курганов, фиксируются на расстоянии до 400 м от могильника.

Реконструкции, проведенные при раскопках некоторых крупных курганов в Северном Казахстане (Зданович и др., 1984), позволили предположить, что для их строительства использовался равномерно снятый гумусовый

горизонт и верхний слой материковой глины. Последняя придавала жесткость конструкции и визуальную контрастность насыпи на местности. Гумусированный материал снимался не с какой-то одной стороны, а вокруг курганной насыпи по кольцу на глубину 0,5-0,6 м.

Принимая во внимание схожие, по мнению большинства археологов, погребальный обряд и технологию сооружения курганов эпохи раннего железного века у различных древних культур на территории Западной Сибири, проведенные нами исследования прикурганных почв позволяют предполагать схожий характер выявленных нарушений в других направлениях по радиусу от кургана. Необходимо только отметить неравномерное снятие почвенных горизонтов, – в случае равномерного, согласно расчетам, хватило бы значительно меньшего радиуса кольца и, следовательно, общая площадь нарушений была бы меньше. Далее будут рассмотрены отдельные почвенные показатели, связанные с такими древними антропогенными нарушениями – то есть в связи со снятием верхних гумусовых горизонтов прилегающих к ним почв.

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Морфологические свойства почв имеют самостоятельную информативную значимость, поскольку являются совокупностью признаков, интегрально отражающих их генетические особенности, состав и свойства, являясь одним из существенных признаков для диагностики и классификации почв, как современных, так погребенных и ископаемых (Дергачева, 1997; Добровольский, 1999 и др.). В докучаевском генетическом методе почвоведения, позволяющем вскрыть историю развития и предсказать пути дальнейшей эволюции почв, что лежит в основе положения о почве как о “зеркале природы”, морфология почв играет особую роль, будучи направленной на изучение консервативных, медленно формирующихся и медленно стирающихся почвенных признаков (Розанов, 2004). Нельзя не отметить, что многие

современные исследователи до сих пор рассматривают морфологический метод изучения почв как основной, зачастую без привлечения других методов.

Курган “Бабий Бугор”

В пределах кургана сформированы *выщелоченные черноземы многогумусные (тучные) среднетощные на супесях и легких суглинках*, - то есть те почвы, которые характерны для большей части лесостепной зоны. Карбонатный горизонт хорошо выражен и находится ниже горизонта В₁ на глубине 75 см, что позволяет их определить как *средневыщелоченные*. Ниже приводится морфологическое описание фонового зонального разреза 3-02, заложенного на целине на ненарушенном участке, а также разреза 27-99, характеризующий также зональные, но уже распахиваемые почвы.

Разрез 3-02. Фоновый целинный.

А 0-27 см. Темно-серый, густо переплетенный корнями. Структура мелкозернистая. Супесчаный, уплотненный, сухой. Переход в следующий горизонт постепенный, по цвету, ясный.

В₁ 27-37 см. Светлее вышележащего. Структура мелкозернистая. Супесчаный, уплотненный. Корней мало. Не вскипает от 10 % HCl. Переход постепенный, по началу горизонта затеков.

В₂ 37-57 см. Горизонт затеков. Серые узкие неправильные прогумусированные затеки на общем желтовато-коричневатом фоне. Суглинистый, рыхлый, рассыпчатый.

В₃ 57-75 см. Отличается от вышележащего отсутствием гумусовых затеков. Переход по началу вскипания карбонатов, ровный.

В_к 75-90 см. Горизонт вскипания. Светло-желтый, коричневатый. Суглинистый, рыхлый. Новообразования карбонатов не выделяются. Вскипает от 10 % HCl. Немногочисленные мелкие корни встречаются до глубины 75 см.

Разрез 27-99. Фоновый пахотный.

Заложен у д.Скаты (Белозерский р-н, Курганская область), в 1000 м от аналогичных крупных курганов.

$A_{\text{пах}}$ 0-25 см. Темно-серый, рыхлый. Структура комковато-зернистая, содержит корни. Переход по цвету, ровный, четкий.

B_1 25-50 см. Тёмно-серый, более светлый чем предыдущий, иногда встречаются светлые пятна и корни, очень плотный, бесструктурный.

$B_{к1}$ 50-75 см. На светло-сером фоне затеки гумуса разных размеров, выделяются светлые пятна, возможно карбонатного происхождения. Вскипает от соляной кислоты.

$B_{к/BC}$ 75-100 см. Светло-буровато-серый. Небольшие затеки гумуса (окончание языков), норы роющих животных шириной до 3-х см и значительной длины. Переход по цвету и механическому составу.

BC 100-110 см. Светло-бурый, вязкий. Бесструктурный, глинистый.

Для поставленной в ходе исследования задачи оценки степени измененности почвенного покрова в местах различных его нарушений (снятие горизонтов, смешивание горизонтов, сооружение насыпей) были заложены разрезы антропогенно-измененных почв между курганом и рвом, во рву, на валу, а также на прикурганном пространстве на расстоянии до 300 м (рис. 3.2.3).

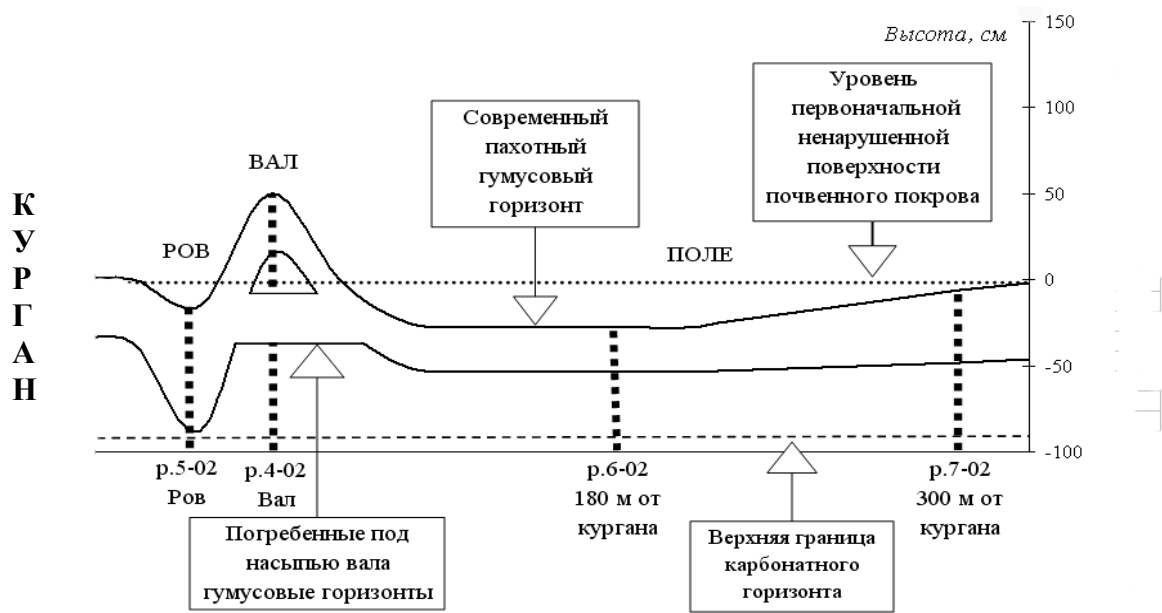


Рис. 3.2.3. Схема почвенных профилей вдоль транsekты на разных расстояниях от кургана “Бабий Бугор”.

Ниже приведена морфологическая характеристика разреза 4-02 на валу, с южной стороны от кургана, в десяти метрах от него. Высота вала от поверхности приблизительно 0,5 м. В профиле разреза выделяются два почвенных подпрофиля: верхний (собственно насыпь вала), сформированный на выкиде из рва, и нижний, представляющий собой погребенную 2,5 тыс. лет назад почву.

Разрез 4-02. Вал.

Профиль 1. Насыпь вала.

A 0-22 см. Темно-серый. Плотный, много корней травянистых растений. Структура зернистая, рассыпчатая. Переход в следующий горизонт постепенный, неясный, по плотности.

B₁ 22-36 см. Цвет темно-серый, не отличается от вышележащего. Более рыхлый. Много мелких корней, но меньше, чем в предыдущем горизонте. Структура зернисто-комковатая. Влажный. Переход в следующий горизонт ясный, неровный, по цвету и плотности.

B₂ 36-56 см. Горизонт затеков. Фон рыжевато серый с темно-серыми затеками. Затекки разные по глубине, некоторые доходят до горизонта [A+B₁]. Структура плотная комковатая. Влажный. Переход в следующий горизонт ровный, четкий, по цвету, плотности, изменению структуры.

Профиль 2. Погребенная почва.

[A+B₁] 56-78 см. Темно-серый, несколько светлее горизонта A₁. Очень плотный. Структура комковато-ореховатая. Более сухой, чем вышележащие горизонты. Наличие корней. Переход в следующий горизонт по цвету и отсутствию затеков, постепенный, ясный.

[B₂] 78-96 см. Рыжевато серо-коричневый с темно-серыми затеками, разными по интенсивности цвета и глубине. Плотный, структура зернистая. Сухой. Немногочисленные корни. Переход в нижележащий горизонт по отсутствию затеков, нечеткий.

[B₃] 96-106 см. Цвет как у вышележащего. Структура комковатая. Практически отсутствуют затекки. Переход четкий, неровный, по цвету.

[B_к] 106-120 см. Светло-серый, однородный, фиксируются пятна и затекки рыжеватого-коричневого цвета. Новообразования карбонатов не выделяются. Вскипает от 10 % HCl. Плотный, бесструктурный. Переход четкий, по цвету.

BC 120-129 см. Серо-коричневый. Рыхлый, рассыпчатый. Корней нет.

Далее приводится морфологическая характеристика разрезов, заложенных на прикурганном пространстве на расстоянии 180 и 300 м от кургана, на пахотном поле без всходов.

Разрез 6-02 . Поле, 180 м от кургана.

Апах 0-25 см. Почти черный, легкосуглинистый. Структура комковато-зернистая. Плотный, корней нет. Граница перехода ясная, по цвету.

В₂ 26-47 см. Горизонт затеков. Цвет светло-серовато-желтый, легкий суглинок. Затекки бледные, нерезкие. Структура мелко-комковатая. Переход по цвету, отсутствию затеков и по началу вскипания в соляной кислоте.

В_{к1} 47-61 см. Серовато-желтый, видны белесые пятна – скопления карбонатов. Структура мелко-комковатая. Суглинок.

В_{к2} 61-79 см. Белесый. Скопления карбонатов.

ВС 76-88 см. Серо-коричневый. Рыхлый, рассыпчатый супесчаный. Корней нет.

Разрез 7-02. Поле, 300 м от кургана.

Апах 0-22 см. Структура мелко-комковатая. Цвет черный. Суглинистый. Граница перехода ровная, заметная по цвету.

В₁ 22-42 см. Цвет серовато-черный. Структура мелко-комковатая. Суглинистый. Переход в следующий горизонт по началу затеков.

В₂ 38-69 см. Горизонт затеков. Фон серо-желтый, неясно выраженные гумусовые затекки из предыдущего горизонта. Структура мелко-комковатая. Переход по началу вскипания в соляной кислоте.

В_к 69-81 см. Светло-серовато-желтый, однородный.. Новообразования карбонатов не выделяются. Вскипает от 10 % HCl. Плотный, бесструктурный.

Анализируя морфологическое строение прикурганых почв, прежде всего необходимо отметить *меньшую мощность гумусовых горизонтов у новообразованных почв*. Так, суммарная мощность современных гумусовых горизонтов в поле на расстоянии 180 м от кургана, где срезка верхней части профиля была максимальной, оказалась в современном состоянии до 16 см

меньше таковой на расстоянии 300 м от кургана, откуда почвенно-грунтовая масса изымалась в меньших количествах, и до 24 см меньше, чем в фоновых почвах. Как видно из таблицы 3.2.1, за 2,5 тыс. лет антропогенно нарушенные почвы смогли только приблизиться, но так и не достигли показателей фоновых почв по мощности гумусовых горизонтов – а это один из наиболее важных показателей плодородия черноземных почв.

Таблица 3.2.1..

Мощность гумусовых горизонтов в почвах вблизи кургана “Бабий Бугор”

Расстояние от кургана, м	Вал	180	300	Фон
Мощность гумусовых горизонтов A+B ₁ , см	37	26	42	50

Стоит однако учитывать, что почвы вблизи курганов (а зачастую и сами курганы) в настоящее время распахиваются, что приходится принимать во внимание оценивая древние нарушения. Прежде всего, процесс распашки влияет на такие показатели состояния почв, как содержание гумуса, качественный состав гумуса, дифференциация профиля по гранулометрическому составу, содержание легкорастворимых солей и биофильных элементов, кислотность и некоторые другие. В морфологическом плане это проявляется в появлении нового пахотного гумусового горизонта A_{пах}, который резкой границей, проходящей по линии подошвы плуга (обычно 20-25 см), отделяется от нижележащих горизонтов. На общую суммарную мощность гумусовых горизонтов такой процесс практически не влияет.

Как известно, гумусовый горизонт выщелоченных черноземов дифференцируется на два горизонта: A и B₁. У современных дневных почв вокруг курганов эти горизонты не выделяются, что связано с распашкой. Ответить на вопрос, происходит ли в нарушенных (“эродированных”) почвах дифференциация на горизонты A и B₁ за указанное время, может позволить изучение насыпей валов вокруг курганов. Указанные насыпи небольшой высоты образовывались в результате выкапывания прикурганного ритуального рва,

отделявшего, по представлениям саргатцев, землю живых людей от земли мертвых.

За 2,5 тысячи лет, в условиях расположения археологического памятника “Бабий Бугор”, в условиях “чистого” почвообразования на прикурганном валу сформировались почвы по набору генетических горизонтов близкие к фоновым черноземам выщелоченным. Так, на данном этапе четко морфологически дифференцируется гор.А, гор.В₁ и гор.В₂ (горизонт гумусовых за-теков). Общая мощность гумусовых горизонтов А + В₁ на валу составила 36 см. Средняя скорость образования гумусовых горизонтов, следовательно, составляет 1,44 см за столетие. По-видимому, эта цифра несколько завышена: горизонт В₁ насыпи вала изначально в какой-то степени был гумусирован – при выкапывании рва этот слой складывался из вышележащих его горизонтов в результате “инверсии” почвенного профиля. Если рассчитывать скорость образования гумусовых горизонтов по прикурганным (“эродированным”) почвам, то она составит 1,04 см за столетие.

В древних нарушенных почвах отмечены также и отличия в сравнении с фоновыми величинами такого важного показателя выщелоченных черноземов, как *глубина залегания карбонатного горизонта*. Содержание и распределение карбонатов в почвах является весьма значимым и надежным признаком при генетической диагностике почв. Считается, что характер карбонатного профиля на протяжении голоцена остается практически неизменным (Дергачева, 1997). На многочисленных объектах с древними нарушениями, связанными с перемещением почвенно-грунтовой массы, отмечены различия в глубине залегания карбонатов: независимо от того, снята или насыпана была почва, первоначальный уровень залегания карбонатного горизонта остается практически неизменным. В нижеприведенной таблице показаны глубины залегания карбонатов в антропогенно нарушенных почвах вблизи кургана “Бабий Бугор”.

Таблица 3.2.2..

Глубина залегания карбонатного горизонта вблизи кургана “Бабий Бугор”

Расстояние от кургана, м	Вал	180	300	Фон
Глубина залегания карбонатного горизонта, см	106	47	69	75

Как видно из таблицы, наиболее близка к поверхности оказалась верхняя граница карбонатного горизонта у почв на расстоянии 180 м от кургана – то есть там, где снимались наибольшие количества верхних гумусовых горизонтов. Изучение других археологических памятников показало, что на некоторых участках, где снятие почвенно-грунтовой массы было максимальным (прикурганные рвы, оборонительные рвы городищ), карбонатный горизонт был изъят полностью и в современном профиле не фиксируется. Следовательно, можно говорить о незавершенности за 2,5 тысячи лет процесса образования карбонатного горизонта.

Курганный могильник “Скаты”

В районе расположения археологического памятника “Скаты” сформированы *среднемощные выщелоченные черноземы*, близкие к черноземам типичным (начало карбонатного горизонта совпадает с нижней границей гумусового горизонта). Для характеристики антропогенно нарушенных почв вблизи курганов были заложены 6 разрезов на расстоянии до километра от них (рис. 3.2.4).

Морфологическое описание пахотных зональных почв (разрез 27-99) приведено выше при описании почв кургана “Бабий Бугор”. Ниже приводится морфологическое описание антропогенно нарушенных почв вблизи курганов.

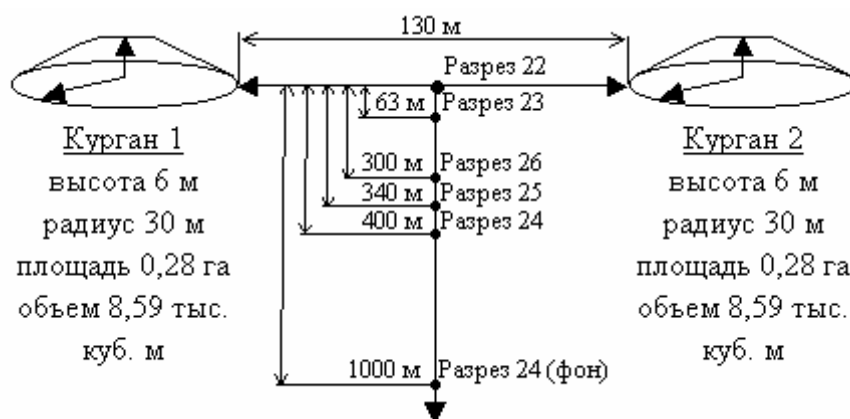


Рис. 3.2.4. Схематическое изображение курганов могильника “Скаты” с указанием заложенных разрезов и расчетных данных.

Разрез 22. Заложен на овсяном поле посередине между курганами 1 и 2.

$A_{\text{пах}}$ 0-12 см. Темно-серый, рыхлый. Структура комковато-зернистая, присутствуют многочисленные корни растений. Переход в нижележащий горизонт по плотности.

$A_{\text{пах}}$ 12-25 см. Более плотный, чем вышележащий. Трещиноватый, вязкий, бесструктурный. Переход в следующий горизонт по плужной границе.

B_1 25-40 см. Темно-серый, с мелкими более светлыми пятнами. Плотный, бесструктурный, трещиноватый. Переход в нижележащий горизонт по началу гумусовых затеков.

$B_{\text{к2}}$ 40-72 см. Горизонт гумусовых затеков. На общем светло-сером фоне – темные языки гумуса. Вскипает от 10 % HCl. Плотный, встречены норы животных, корней мало. Переход ясный, по присутствию карбонатного мицелия.

$B_{\text{к3}}$ 72-100 см. Карбонатный горизонт, на общем светло-сером фоне ясно выделяется карбонатный мицелий. Плотный, вязкий, бесструктурный. Переход по цвету, ровный, постепенный.

$B_{\text{к/BC}}$ 100-125 см. Светлее, чем предыдущий, с темными пятнами и карбонатным мицелием. В остальном не отличается от вышележащего горизонта. Переход постепенный, по цвету.

BC 125-130 см. Светло-бурый, плотный суглинок. Вязкий, бесструктурный.

Разрез 23 (63 м от курганов).

$A_{\text{пах}}$ 0-12 см. Темно-серый, рыхлый. Структура комковатая. Переход в нижележащий горизонт по плотности.

A_{пах} 12-25 см. Темно-серый суглинок. Плотный, трещиноватый, вязкий, бесструктурный. Переход в следующий горизонт по плужной границе.

B₁ 25-37 см. Темно-серый, пестрый – многочисленные пятна светло-бурого цвета. Плотный, много мелких корней, бесструктурный, трещиноватый. Переход в нижележащий горизонт по началу гумусовых затеков.

B_{к2} 40-72 см. Горизонт гумусовых затеков. Вскипает от карбонатов. Плотный, трещиноватый, встречены норы животных, корней мало. Переход ясный, неровный, по окончанию гумусовых затеков.

B_{к3} 65-90 см. Более светлый, чем предыдущий, корней нет. Плотный, вязкий, с вертикальными трещинами. Переход по цвету, постепенный.

BC 90-95 см. Светло-бурый, плотный суглинок. Вязкий, бесструктурный.

Разрез 26 (300 м от курганов).

A_{пах} 0-11 см. Темно-серый, рыхлый. Структура комковато-зернистая. Переход в нижележащий горизонт по плотности.

A_{пах} 11-22 см. Темно-серый, встречаются светлые пятна, суглинистый. Плотный, вязкий, бесструктурный. Переход в следующий горизонт по плужной границе.

B₂ 22-42 см. Горизонт гумусовых затеков Светло-серый суглинок с более темными затеками. Плотный, много мелких корней, бесструктурный, трещиноватый. Переход в нижележащий горизонт по цвету.

B₃ 42-55 см.. Светлее вышележащего. Плотный, трещиноватый, встречены норы животных, корней мало. Переход ясный, неровный, по окончанию гумусовых затеков.

BC 55-60 см. Светло-бурый плотный суглинок.

Разрез 25 (340 м от курганов).

A_{пах} 0-15 см. Темно-серый, рыхлый. Структура комковато-зернистая. Переход в нижележащий горизонт по плотности, граница резкая.

A_{пах} 15-30 см. Темно-серый, плотный. Переход в следующий горизонт по плужной границе, резкий.

B₂ 30-50 см. Горизонт затеков. Светло-бурый фон с темно-серыми затеками. Плотный, много мелких корней, бесструктурный, трещиноватый. Переход в нижележащий горизонт по цвету, не ясный, постепенный.

B₃ 50-60 см.. Светлее вышележащего, в остальном не отличается от него. Переход ясный, неровный, по окончанию гумусовых затеков.

BC 60-65 см. Светло-бурый плотный суглинок, с единичными гумусовыми затеками. Плотный, глинистый.

Разрез 24 (400 м от курганов).

A_{пах} 0-25 см. Темно-серый, почти черный, рыхлый. Много мелких корней. Структура комковато-зернистая. Граница перехода с следующий горизонт резкая, ровная, по цвету и плотности.

B₁ 25-50 см. Темно-серый фон с пятнами светло-бурого цвета диаметром около 0,5-1,5 см, очень плотный, почти слитой. Корней мало. Граница перехода в следующий горизонт ровная, резкая, что позволяет предположить антропогенное вмешательство.

B₂ 50-66 см. Горизонт затеков. На общем светло-буром фоне отдельные языки темно-серого цвета. Встречаются мелкие корни. Плотный, затеки более рыхлые. Переход в нижележащий горизонт по окончании гумусовых затеков.

B₃ 66-77 см.. Светло-бурый, плотный, бесструктурный. Встречаются единичные корни. Переход постепенный, по цвету.

BC 77-84 см. Светло-бурый суглинистый, плотный, бесструктурный.

Антропогенно нарушенные почвы вблизи могильника, расположенные на территории с которой предположительно изымались верхние почвенные горизонты для постройки курганов, значительно отличаются по своим морфологическим свойствам от фоновых почв. Прежде всего, это выражается, как и в случае с курганом "Бабий Бугор", *в меньшей мощности современных (уже частично восстановившихся) гумусовых горизонтов* прикурганных почв (рис. 3.2.5).

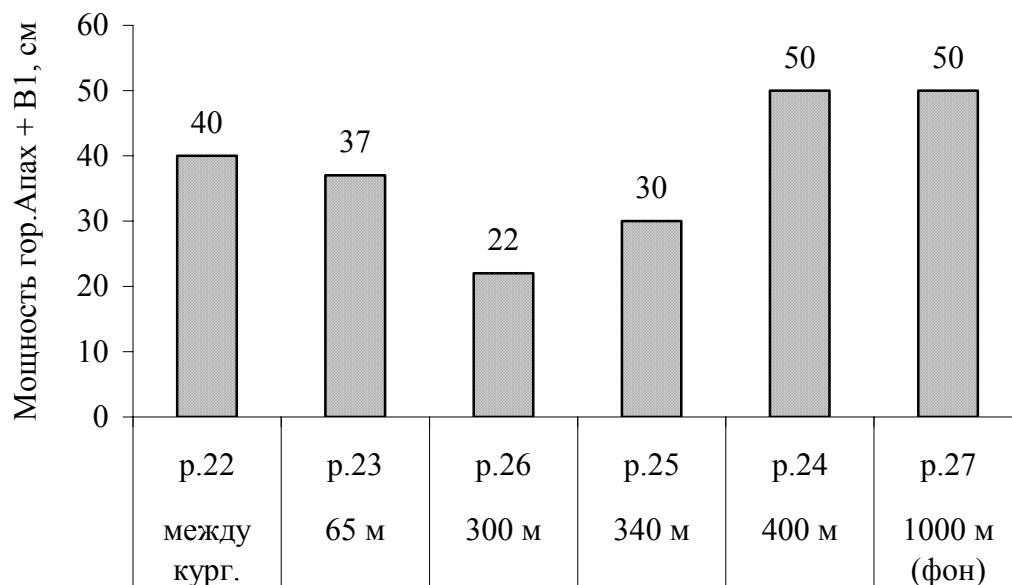


Рис. 3.2.5. Мощности гумусовых горизонтов в нарушенных и фоновых почвах вблизи курганного могильника "Скаты".

Почвенный профиль разреза 26 с наименьшей мощностью гумуса характеризуется, кроме того, полным отсутствием горизонта вскипания от карбонатов, обычно располагающегося в черноземах выщелоченных ниже гумусовых горизонтов. Это говорит в пользу того, что при строительстве курганов он был срезан вместе с вышележащими слоями.

При подобном значительном снятии гумусовых и карбонатных горизонтов почвенный профиль разреза 26 можно рассматривать как новообразованную за 2,5 тысяч лет почву уже только на исходных почвообразующих породах. Средняя скорость формирования гумусового горизонта в данных условиях составляет 0,88 см за столетие.

Таким образом, новообразованные почвы, формирующиеся на обнажениях почвообразующих пород 2,5-тысячелетней давности, не достигли за указанное время состояния фо-

новых ненарушенных почв по морфологическим показателям. Для таких почв характерны:

- меньшая мощность гумусовых горизонтов;
- слабая дифференциация на горизонты;
- меньшая глубина залегания или полное отсутствие карбонатного горизонта.

Средняя скорость формирования гумусового горизонта в зависимости от условий колеблется от 0,88 до 1,44 см за столетие.

Еще раз отметим, что в данном случае почвы восстанавливаются не просто на исходных почвообразующих породах, а на обнаженных, но сохранившихся нижних горизонтах черноземных почв.

ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ

Наряду с морфологическими и агрохимическими свойствами, у древних антропогенно нарушенных почв наблюдаются и изменения *гранулометрического состава*. Гранулометрическим составом почв называется весовое соотношение в составе почв частиц различного размера. Содержание почвенных частиц разной величины определяется различными методами гранулометрического анализа, в результате чего выявляются группы частиц определенного размера: так называемые гранулометрические фракции.

Согласно Н.А. Качинскому, классификация которого используется в настоящей работе, выделяются следующие группы частиц: каменистая часть, гравий, песок разного размера, пыль и ил (Вадюнина, Корчагина, 1984). Указанная классификация основана на соотношении фракций, составляющих физический песок (частицы размером более 0,01 мм) и физическую глину (частицы менее 0,01 мм). Наиболее легкие почвы (пески, супеси) ха-

рактизуются наличием более крупных частиц, чем тяжелые почвы (суглинки и глины).

Частицы различной крупности обычно имеют различный минералогический и, следовательно, химический состав. Гранулометрический состав является важной характеристикой почвы, в значительной мере определяющей ее свойства и плодородие, кроме того, - это диагностический признак, используемый для разделения почв на уровне разновидностей.

Важным генетическим признаком современных почв является изменение содержания физического ила (частицы размером $<0,001$ мм) с глубиной, а перераспределение этой фракции по профилю, в силу его необратимости в процессе почвообразования, может служить для диагностики ископаемых и погребенных почв (Дергачева, 1997).

Курган “Бабий Бугор”

Зональные выщелоченные черноземы в пределах археологического памятника "Бабий Бугор" сформированы на супесях и легких суглинках. Прслеживается слабая дифференциация профиля по гранулометрическому составу: супеси заканчиваются на глубине 37 см, а нижележащая почвообразующая порода представлена легкими суглинками.

Новообразованные почвы на усеченных почвах, несмотря на 2,5 тыс. лет, прошедших с момента их выхода на поверхность в результате “подтягивания” нижних горизонтов, по гранулометрическому составу больше тяготеют к почвообразующим породам, чем к верхним горизонтам фоновых почв. Верхняя часть профиля этих почв представляет собой легкие суглинки, а не супеси, как в фоновых почвах (рис. 3.2.6). Это связано с тем, что самые маленькие частицы (илистые и глинистые фракции) за указанное время не успели еще переместиться в нижележащие горизонты – то есть не произошла дифференциация указанных почв по гранулометрическому составу.

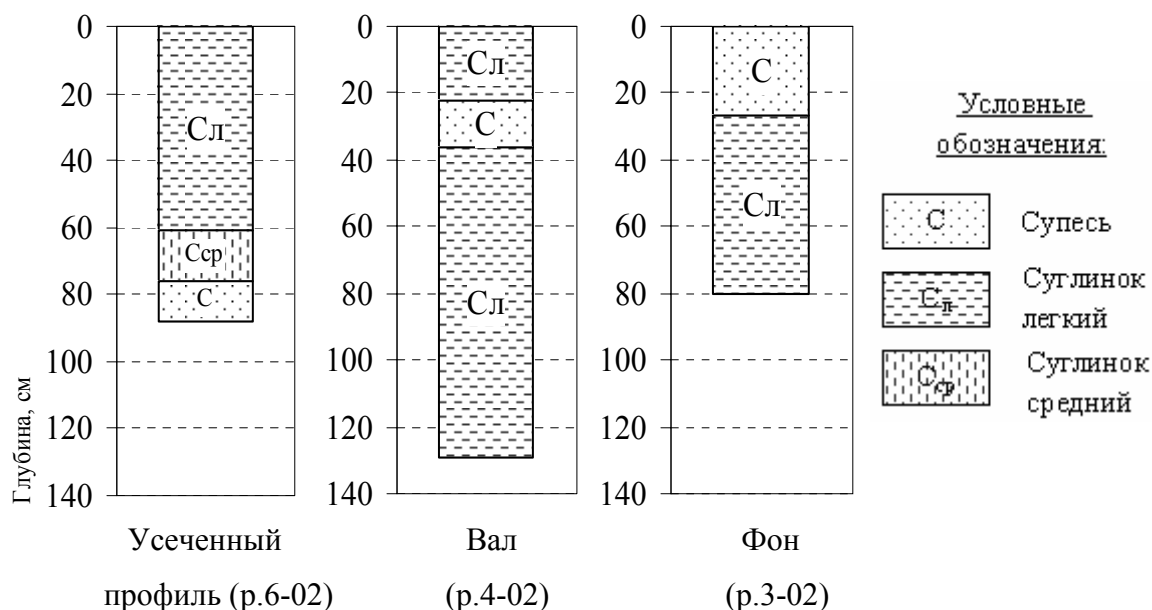


Рис. 3.2.6. Схема строения почвенного профиля антропогенно нарушенных и фоновых почв вблизи кургана “Бабий Бугор” по гранулометрическому составу.

То же самое относится и к новообразованным почвам на прикурганном валу. Но в этом случае легкосуглинистая почвообразующая порода была выброшена на поверхность из рва.

Важным генетическим признаком современных почв является изменение содержания фракции физического ила (частицы размером $<0,001$ мм) с глубиной, а перераспределение этой фракции по профилю, в силу его необратимости в процессе почвообразования, может служить для диагностики ископаемых и погребенных почв (Дергачева, 1997). В фоновых почвах доля илистой фракции в верхней части профиля составляет от 5,48 до 6,38 %, ниже – от 13,21 до 21,53 %. Доля илистой фракции в новообразованных гумусовых горизонтах на валу и на усеченном профиле более чем в три раза выше, чем в фоне (табл. 3.2.3). Таким образом, указанного промежутка в 2,5 тыс. лет недостаточно и для полного вымывания илистой фракции из верхних горизонтов в нижние.

Таблица 3.2.3.

Показатели гранулометрического состава почв вблизи кургана “Бабий Бугор”

Показатель	Пахотные почвы вблизи кургана		Целинные почвы вблизи кургана	
	180 м	Фон	Вал	Фон
Содержание ила в гор.А, %	12,30	Нет данных	12,79	5,48
Кд по илистой фракции	0,56	- // -	0,86	0,42

Для количественной оценки скорости почвообразования по некоторым отдельным признакам удобно приводить коэффициенты дифференциации (Кд). Для гранулометрического состава они будут равны отношению содержания той или иной фракции в верхнем горизонте к таковому в почвообразующей породе и будут, таким образом, иллюстрировать скорость вымывания (или накопления) тех или иных частиц в разных горизонтах почв.

Если провести сравнение скорости восстановления на усеченных почвах с сохранившейся нижней частью профиля со скоростью формирования почв на “чистой” почвообразующей породе (в первом приближении такими можно считать почвы оборонительных и ритуальных валов), то в первом случае восстановление происходит быстрее. Коэффициенты дифференциации (Кд) по илистой фракции в фоновых почвах составляют 0,42, на усеченных почвах – 0,59, то на валу в условиях “чистого почвообразования” – 0,86 (то есть в наибольшей степени близки к единице – состоянию исходной недифференцированной почвообразующей породы).

Таким образом, время в 2,5 тысячи лет – недостаточный срок для формирования и для полной дифференциации черноземных почв по гранулометрическому составу.

ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

К важнейшим химическим показателям, отвечающим за плодородие почв, относятся, прежде всего, кислотность почв, содержание в них доступных растениям соединений фосфора и калия, содержание органического углерода (гумуса), а также валовой химический состав почв.

АКТУАЛЬНАЯ КИСЛОТНОСТЬ

СОДЕРЖАНИЕ ПОДВИЖНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Курган “Бабий Бугор”

В таблице 3.2.4 приведены некоторые агрохимические показатели новообразованных за 2,5 тысячи лет дневных почв вблизи кургана. Отдельно приводятся данные для пахотных и целинных почв, чтобы была возможность дифференцировать последствия каждого из этих типов нарушений (распашка и снятие верхних горизонтов) друг от друга.

Таблица 3.2.4.

Агрохимические показатели почв вблизи кургана “Бабий Бугор” (для гор.А)

Показатель	Пахотные почвы вблизи кургана		Целинные почвы вблизи кургана	
	180 м	Фон	Вал	Фон
pH H ₂ O	6,67	6,72	7,70	6,76
P ₂ O ₅ , мг/100г	1,16	2,10	1,71	2,34
K ₂ O, мг/100г	10,47	31,25	35,49	33,67

Как видно из таблицы 8, прикурганные распахиваемые почвы по значению актуальной кислотности практически не отличаются от фоновых пахотных, но это верно только для самого верхнего горизонта. Если смотреть профильный ход изменения кислотности (рис. 22), то нетрудно заметить, что уже в нижележащем горизонте на глубине 26 см происходит резкое подще-

лачивание, чего мы не наблюдаем в почвах ни на большем расстоянии от курганов, ни тем более в фоновых почвах. Таким образом, в результате снятия верхних горизонтов произошло “подтягивание” нижних, более щелочных горизонтов, и можно говорить о незавершенности по истечении 2,5 тыс. лет процессов выщелачивания в направлении образования зональных выщелоченных черноземов.

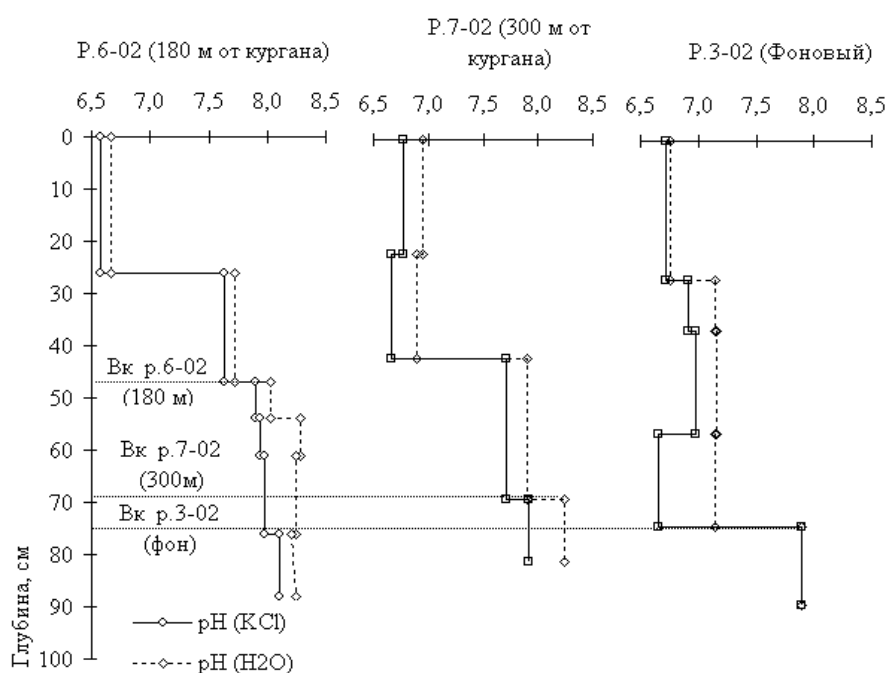


Рис. 3.2.7. Распределение кислотности и глубина залегания карбонатного горизонта в разрезах вблизи кургана “Бабий Бугор”.

В целинных новообразованных почвах высокие значения рН отмечают-ся уже с поверхности – рН 7,70 в гумусовом горизонте против 6,76 фона.

Как видно из таблицы 3.2.4, содержание в антропогенно нарушенных почвах доступных растениям элементов питания также ниже соответствующих фоновых величин. При этом в пахотных почвах их содержание несколько ниже, чем в фоновых, поскольку часть из них была изъята с урожаем.

Курганный могильник “Скаты”

Фоновые почвы по величине рН – нейтральные или слабощелочные, в зависимости от глубины горизонтов.

“Эродированные” 2,5 тысячи лет назад почвы вблизи курганов значительно отличаются от фоновых ненарушенных по этому показателю. Вскипание от карбонатов наблюдается на разной глубине почв в зависимости от расстояния до курганов при величине актуальной кислотности равной 7,66 - 7,97, обменной – 6,90 - 7,70. Но в месте наибольшего снятия на расстоянии 300-340 м карбонатный горизонт полностью отсутствует, при меньших величинах рН в этих почвах (табл. 3.2.5).

Таблица 3.2.5.

Показатели кислотности почв вблизи могильника “Скаты” (для гор.А)

Показатель	Пахотные почвы вблизи могильника		
	300-340 м от кургана	60-300; 340-400 м от кургана	Фон
рН Н ₂ О	6,88 - 7,00	7,30 – 7,32	6,59-6,81
рН КСl	6,19 – 6,07	6,21 – 6,50	6,61-6,72

Меньшие величины рН наряду с меньшей мощностью гумусовых горизонтов и отсутствием карбонатного горизонта подтверждают предположение, что для отсыпки указанных курганов снимались не только гумусовые горизонты, но и карбонатные.

Обменный натрий. Как было видно из морфологического описания почв, почвенные горизонты отличаются высокой плотностью и трещиноватостью. Такие особенности обычно характерны для солонцеватых почв.

Определив содержание обменного натрия в % от емкости катионного обмена (ЕКО), было обнаружено, что содержание обменного натрия во всем почвенном профиле увеличивается вглубь профиля. При этом значения в целом фиксировались небольшие: от 0,31 до 8,03 % от ЕКО). При этом в гуму-

совом горизонте обменного натрия меньше (0,33 - 1,02 %), чем в нижележащих (2,09 - 8,03 %).

В фоновых почвах с наименьшей мощностью гумусового горизонта (22 см) резкий скачок в содержании обменного натрия наблюдается уже на глубине 22-42 см. Следовательно, после снятия верхних гумусовых и карбонатных горизонтов формирование нового почвенного профиля на нарушенных участках шло уже на более глубоких солонцеватых слоях.

Во всех разрезах наблюдается очень низкая обеспеченность почв подвижными фосфатами (1,2 - 2,7 мг/100г почвы) при высокой обеспеченности их обменными формами калия даже на глубине до 110-130 см. Последний факт, по-видимому, указывает на высокую обогащенность этим элементом почвообразующих пород.

Последствия снятия 2,5 тысяч лет назад гумусовых горизонтов обнаруживаются и для этого показателя: в профильных кривых нарушенных почв на глубине 11-30 см фиксируется определенное уменьшение величин содержания K_2O по сравнению с выше- и нижележащими горизонтами. При этом связи с мощностью снятых горизонтов, в силу высокой подвижности этого элемента, не наблюдается.

ВАЛОВОЙ ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ

Валовой состав почв позволяет получить представление об общем содержании в минеральной части почв химических элементов. Данные валового анализа позволяют проследить изменения в содержании химических элементов по почвенному профилю в сравнении с почвообразующей породой и установить запасы тех или иных элементов в генетических горизонтах почвенного профиля.

Черноземные почвы, распространенные в большей части лесостепной и степной зон России, характеризуются нерезкой дифференциацией почвенного профиля на генетические горизонты по показателям валового состава. Ис-

ключением является лишь валовой кальций, который в значительных количествах может выщелачиваться из профиля в черноземах выщелоченных (отсюда название) и накапливаться в нижней его части в форме CaCO_3 . Кроме того, в верхних горизонтах может происходить аккумуляция валового фосфора и железа биогенного происхождения.

Курган “Бабий Бугор”

Так же как и в случае с подвижными элементами, новообразованные почвы на нарушенных участках вблизи кургана “Бабий Бугор” отличаются от фоновых меньшими количествами биогенных элементов: фосфора, железа, кальция, а также марганца и магния при повышенном содержании в гумусовом горизонте кремнезема.

Профиль черноземов выщелоченных, сформированных вблизи кургана, также характеризуется и незначительной дифференциацией по валовому составу ввиду слабого промывного режима изучаемых почв.

Для количественной оценки степени дифференциации почвенного профиля некоторых почв, расположенных в условиях сильного промывного режима (например, подзолистых), удобно использовать коэффициент дифференциации (Кд) – отношение содержания какого-либо элемента в элювиальном горизонте к его содержанию в иллювиальном горизонте. При Кд близком к единице распределение элемента по профилю равномерное; Кд меньше единицы говорит о его вымывании из горизонта; больше единицы – о вмывании. Исследования, проведенные ранее в условиях средней тайги на разновозрастных археологических памятниках Западной Сибири, показали информативность этого показателя при оценке интенсивности почвообразования и для расчета ХВ (характерного времени) для каждого из элементов или для признака в целом (Махонина, Коркина, 2001, 2002; Коркина, 2001). Подзолистые почвы, сформированные в этих условиях, имеют ХВ для валового фос-

фора и кальция от 2,5 до 5,0 тыс. лет, а для валового железа - более 5,0 тыс. лет.

Для черноземных почв Кд используется для оценки накопления (вымывания) элемента в гумусовом горизонте к почвообразующей породе. Использование этого показателя для черноземных почв лесостепи трудноприменимо в силу слабой внутрипрофильной дифференциации этих почв по валовому составу: большинство значений близко к единице.

Профиль черноземов выщелоченных, сформированных вблизи кургана “Бабий Бугор”, не является исключением – он также характеризуется незначительной дифференциацией по валовому составу ввиду слабого промывного режима изучаемых почв. Наибольшие коэффициенты характерны для биогенных элементов, накапливающихся в верхних горизонтах фоновых почв. Коэффициенты дифференциации (Кд) для большинства элементов в фоновых почвах колеблются от 1,0 до 1,5; исключение составляет валовой фосфор, по причине его биогенного накопления в верхних горизонтах (табл. 3.2.6).

Таблица 3.2.6.

**Коэффициенты дифференциации по валовому составу
новообразованных и фоновых почв вблизи кургана “Бабий Бугор”**

Разрез, №	Коэффициенты дифференциации (Кд)							
	R ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	TiO ₂	MnO	CaO	MgO
Вал (р.4-02)	1,02	1,04	0,98	1,17	0,85	1,11	0,60	0,45
Усеченный профиль (р.6-02)	1,24	1,07	2,03	1,00	1,19	1,13	0,54	0,47
Фон (р.3-02)	1,55	1,50	1,22	3,60	1,15	1,56	1,12	1,11

Как видно из таблицы, Кд большинства элементов в новообразованных почвах значительно ниже фоновых. Особенно это относится к фосфору, кальцию и магнию. Таким образом, 2,5 тыс. лет недостаточно для полной дифференцировки профиля черноземов выщелоченных по валовому химическому составу.

Итак, промежутка времени в 2,5 тыс. лет недостаточно для восстановления целого ряда агрохимических показателей, непосредственно ответственных за плодородие почв. Прежде всего – это кислотность почв, содержание подвижных элементов питания. Кроме того, указанного времени недостаточно и для накопления, а также для полной дифференциации профиля черноземов выщелоченных по валовому химическому составу. Прежде всего это относится к биогенным элементам.

ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО ПОЧВ

Показатели состояния органического вещества почв являются ведущими при оценке почвенного плодородия. От количественных и качественных характеристик гумуса во многом зависят многие физико-механические свойства почв (структура, пористость, воздушный, водный и тепловой режимы), кислотность и щелочность почв, поглощательная способность, а также многие другие важнейшие физические, химические и биологические свойства. Представляет большой интерес выяснить, насколько новосформированные за 2,5 тыс. лет черноземные почвы на обнаженных почвообразующих породах приблизились к фоновым по состоянию органического вещества.

Среди количественных характеристик органического вещества первостепенное значение имеют такие, как содержание и запасы гумуса, среди качественных – групповой и фракционный состав гумуса, а также величины оптической плотности гуминовых кислот.

СОДЕРЖАНИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА, ЗАПАСЫ ГУМУСА

Курган “Бабий Бугор”

Содержание общего органического углерода в фоновых целинных почвах достигает 5,23 % в гор.А, в пахотных зональных почвах – 3,22 % в

гор.А_{пах}. Как мы уже говорили в главе 2, ранее в литературе уже неоднократно отмечалось резкое уменьшение содержания гумуса и его запасов в связи с распашкой и последующей его минерализацией. Что касается запасов гумуса, то в зональных целинных почвах они составляют 236,6 и 405,8 т/га соответственно в слое 20 и 50 см, что в 1,5 - 1,6 раза выше запасов гумуса в пахотных зональных почвах (151,6 и 265,9 т/га).

Нарушенные почвы вокруг кургана содержат лишь треть органического углерода от фоновых количеств в целинных почвах, что являются в значительной степени следствием распашки, – “окультуривания” почв; относительно же зональных пахотных почв содержание углерода в новообразованном гор.А_{пах} составляет 53,1 %.

Таблица 3.2.7.

Содержание и запасы гумуса вблизи кургана “Бабий Бугор”

Показатель	Пахотные почвы вблизи кургана		Целинные почвы вблизи кургана	
	180 м	Фон	Вал	Фон
Содержание углерода в гор.А, %	1,78	3,35	2,76	5,23
Запасы гумуса, т/га (слой 0-20 см)	89,7	151,6	124,8	236,6

Запасы гумуса в нарушенных почвах на расстоянии до 300 м от кургана составляют менее половины от исходных, что связано как с усечением их 2,5 тыс. лет назад, так и с современным распахиванием. Запасы гумуса в дневных почвах на валу значительно меньше фоновых и составляют в слое 0-20 см всего 124,8 т/га или 52,75 % от запасов гумуса в фоновых целинных почвах (рис. 3.2.6). Распаханные почвы характеризуются еще меньшими абсолютными запасами гумуса – 89,7 т/га; но в относительных цифрах эта величина составит 64,8 % от зональных пахотных почв.

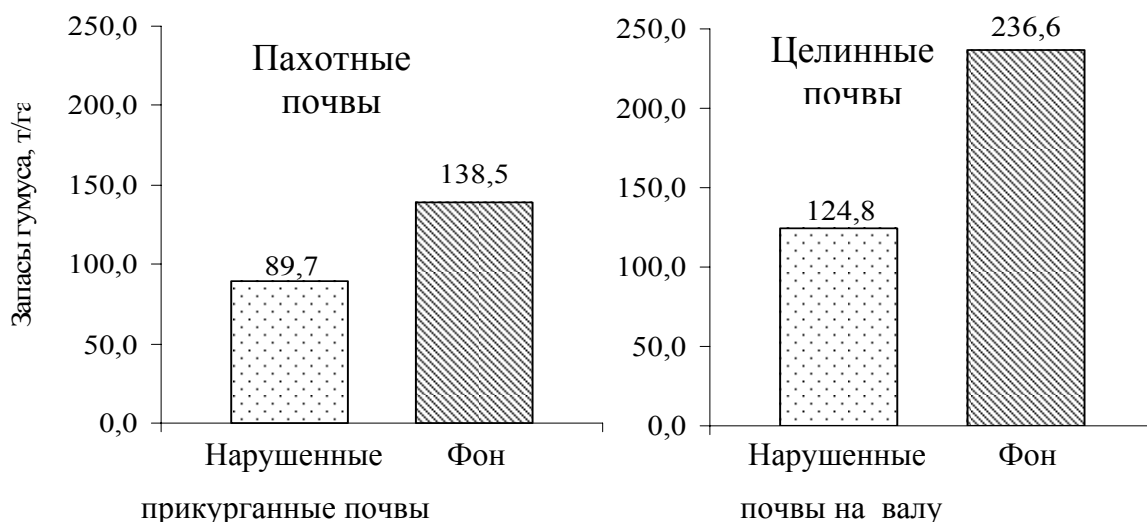


Рис. 3.2.8. Запасы гумуса в новообразованных за 2,5 тыс. лет почвах вблизи кургана Бабий Бугор в сравнении с фоновыми почвами в слое 0-20 см, т/га.

Курганный могильник “Скаты”

Как и в случае с курганом “Бабий Бугор”, мощность современных гумусовых горизонтов в почвах вблизи могильника “Скаты” определенным образом изменяется в зависимости от расстояния до курганов, при этом минимальное значение соответствует максимальной величине снятых в древности верхних горизонтов почв – на расстоянии 300-340 м (табл. 3.2.8). Содержание гумуса в нарушенных почвах увеличивается в от разреза 26 (300 м) как в сторону курганов, так и в противоположном направлении от них.

Таблица 3.2.8.

Изменение мощности современных гумусовых горизонтов и содержания гумуса в зависимости от расстояния до курганов могильника “Скаты”

Показатель	№ разреза					
	22	23	26	25	24	27 (фон)
Расстояние до курганов, м	м/у кург.	65	300	340	400	1000
Мощность современных гумусовых горизонтов A+B ₁ , см	40	37	22	30	50	50
Содержание углерода в горизонтах A и B ₁ , %	2,70- 3,08	2,03- 2,97	2,37- 2,52	3,78- 3,89	2,47- 2,98	2,15- 3,35

В таблице 3.2.9 (на рис. 3.2.7) представлены расчетные данные по запасам гумуса в изучаемых почвах. Наименьшие значения также принадлежат почвенному профилю на расстоянии до 300 м, где происходило наиболее значительное снятие почвенных горизонтов.

Таблица 3.2.9.

**Изменение запасов гумуса в зависимости
от расстояния до курганов могильника “Скаты”**

Показатель	№ разреза					
	22	23	26	25	24	27 (фон)
Расстояние до курганов, м	0	65	300	340	400	1000
Запасы гумуса в 50 см профиля, т/га	215	179	125	245	235	235
Запасы гумуса в 100 см профиля, т/га	250	195	130	260	245	273

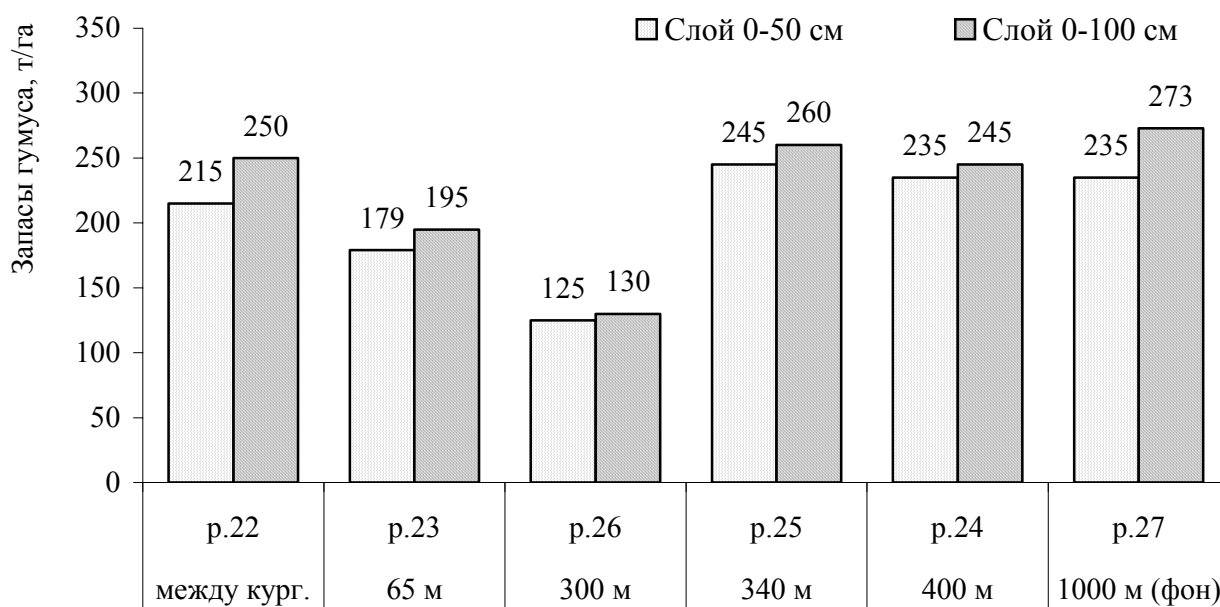


Рис. 3.2.9. Изменение запасов гумуса в зависимости от расстояния до курганов могильника “Скаты”.

Таким образом, за 2,5 тыс. лет в условиях “чистого почвообразования” на выбросе почвообразующей породы на валу почвы лишь наполовину достигли показателей целинных фоновых почв по содержанию органического углерода и запасам гумуса. В случае срезки верхних почвенных горизонтов приближение запасов гумуса к фоновым происходит быстрее, чем в случае гумусообразования на выбросе “чистой” почвообразующей породы.

ГРУППОВОЙ СОСТАВ ГУМУСА

Групповой состав гумуса – это набор и количественное содержание групп специфических и неспецифических веществ, входящих в его состав. Групповой состав гумуса в узком смысле характеризуют две основные группы его компонентов: гуминовые кислоты (ГК) и фульвокислоты (ФК). Считается, что соотношение между двумя этими группами гумусовых веществ ($S_{гк}/S_{фк}$) является надежным диагностическим и классификационным признаком современных, погребенных и ископаемых почв, поскольку оно не является функцией времени их существования, а отражает природные условия формирования почвенного покрова (Дергачева, 1997). Для черноземных почв этот показатель обычно изменяется в пределах 1,5 - 2,0, что соответствует фульватно-гуматному типу гумуса (Орлов, 1992).

Фракционный состав по схеме И.В. Тюрина в модификации В.В. Пономаревой и Т.А. Плотниковой (1970) позволяет состав гумуса подразделить на фракции: фракция 1 - это бурые ГК и ФК, свободные и связанные с полуторными окислами (ГК-1, ФК-1); фракция 2 - ГК и ФК, предположительно связанные с кальцием (ГК-2 и ФК-2); фракция 3 - ГК и ФК, прочно связанные с глинистой фракцией и устойчивыми формами полуторных окислов (ГК-3 и ФК-3); фракцию “агрессивных” ФК (ФК 1а) и негидролизующий остаток (Орлов, 1992; Дергачева, 1997).

Курган “Бабий Бугор”

В зональных целинных почвах в составе гумуса наблюдается преобладание гуминовых кислот над фульвокислотами (соотношение $C_{гк}/C_{фк} = 1,38$ и $1,39$ в горизонтах А и B_1), что соответствует фульватно-гуматному составу гумуса. В нижележащих горизонтах это соотношение уменьшается до $0,33 - 0,19$ (фульватный состав). Пахотные фоновые почвы характеризуются большим соотношением $C_{гк}/C_{фк}$ ($1,98$), что соответствует гуматному составу гумуса.

Новообразованные за 2,5 тыс. лет почвы на нарушенных участках вблизи кургана практически выравниваются по показателям группового состава с фоновыми почвами. Гумус новообразованных на валу почв практически достигает по этому показателю фоновых значений (табл. 3.2.10). Пахотные же гумусовые горизонты окружающих курган почв со срезанными верхними горизонтами имеют еще более близкие, практически идентичные с целинными фоновыми целинными почвами отношения $C_{гк}/C_{фк}$ гумуса, но значительно более низкие, чем в фоновых пахотных почвах. По-видимому, это тот самый случай, когда на данный показатель сказывается влияние не древних нарушений, а распашки на современном этапе.

Таблица 3.2.10.

Некоторые показатели качественного состава гумуса вблизи кургана “Бабий Бугор” для гор.А

Показатель	Пахотные почвы вблизи кургана		Целинные почвы вблизи кургана	
	180 м	Фон	Вал	Фон
Отношение $C_{гк}/C_{фк}$	1,35	1,98	1,24	1,38
Содержание ГК-2, %	25,06	34,10	27,72	34,67

Из таблицы может показаться, что показатели группового состава гумуса антропогенно-измененных почв за истекшее с момента нарушения время уже выравниваются по сравнению с фоновыми. Но это не так: в нижеле-

жащих горизонтах фоновых почв значение $C_{гк}/C_{фк}$ равно 1,39, тогда как у нарушенных (“эродированных”) почв вблизи кургана – уже 0,71, а потом, на глубине 47 см, – и вовсе остаются лишь следы гуминовых кислот. Такое профильное распределение $C_{гк}/C_{фк}$ не характерно для черноземных почв.

ФРАКЦИОННЫЙ СОСТАВ ГУМУСА

Зональные целинные почвы в районе расположения кургана отличаются резким преобладанием во фракционном составе гумуса второй фракции (ГК-2), являющейся “типовой” молекулой гуминовых кислот: во фракционном составе фонового разреза 3-02 фракция ГК-2 составляет 34,67 и 39,74 % в горизонтах А и В₁; ГК-1 – 10,86 и 6,23 %; ГК-3 – 4,16 и 8,75 % от общего углерода. Такое соотношение с резким преобладанием ГК второй фракции, связанных с кальцием, характерно для черноземных почв.

Доля “типовой” молекулы ГК во фракционном составе гумуса новообразованных почв на нарушенных участках значительно меньше, чем в фоновых почвах (см. табл. 3.2.10). Так, в почвах на валу ее содержание достигает в гор.А 80,0 % от фонового, а в гор.В₁ – всего лишь 35,8 % от фоновых значений.

Пахотные почвы с усеченным профилем также отличаются меньшим содержанием “типовой” молекулы ГК-2 во фракционном составе гумуса верхнего горизонта А_{пах} по сравнению с фоном. Но в нижележащем горизонте В₁ эта разница сходит на нет: в этом случае высокое процентное содержание ГК связанных с кальцием определяется “подтягиванием” нижних карбонатных горизонтов к поверхности.

Курганный могильник “Скаты”

Если верно высказанное нами предположение об антропогенной нарушенности почвенного покрова в радиусе до 340 м от кургана – в этом случае было бы интересно выяснить особенности качественного состава гумуса –

тем более это относится к разрезу 26 в 300 м от кургана, где, по-видимому, почвенные горизонты были сняты вплоть до почвообразующей породы и почвообразовательные процессы начинались практически с нуля.

В таблице 3.2.11 представлены некоторые показатели группового и фракционного состава гумуса почв вблизи могильника "Скаты". Во всех разрезах в составе гумуса преобладают ГК над ФК (с более сложным двойным профилем в 25 разрезе), что свойственно черноземному типу почв. По мнению М.И. Дергачевой (1984) различная глубина пересечения кривых ГК и ФК в профиле свидетельствует о принципиальных различиях в свойствах почв. В исследуемом нами ряду почвенных профилей глубина "створа" ножиц меняется следующим образом:

Таблица 3.2.11.

**Глубина пересечения кривых ГК и ФК в групповом составе гумуса
в зависимости от расстояния до курганов могильника "Скаты" (для гор.А)**

Показатель	№ разреза					
	22	23	26	25	24	27 (фон)
Расстояние до кургана, м	м/у кург.	65	300	340	400	1000
Соотношение Сгк/Сфк	1,63	1,87	2,03	1,01	1,98	2,61
Глубина пересечения кривых ГК и ФК, см	63	62	33	-	60	67
Содержание ГК-1, %	18,5	26,3	31,0	34,2	31,2	17,0

Кривые распределения ГК и ФК (рис. 3.2.10) в разрезе 25 на расстоянии 340 м от курганов имеют сложный характер: возможно в этом месте почвенно-грунтовая масса не только снималась, но и просыпалась гумусированная масса в процессе транспортировки к кургану – поэтому она не производит впечатление генетически однородной. Именно в этом месте наблюдается локальное увеличение содержания и запасов гумуса (табл. 3.2.9), а также некоторые отклонения других физико-химических показателей.

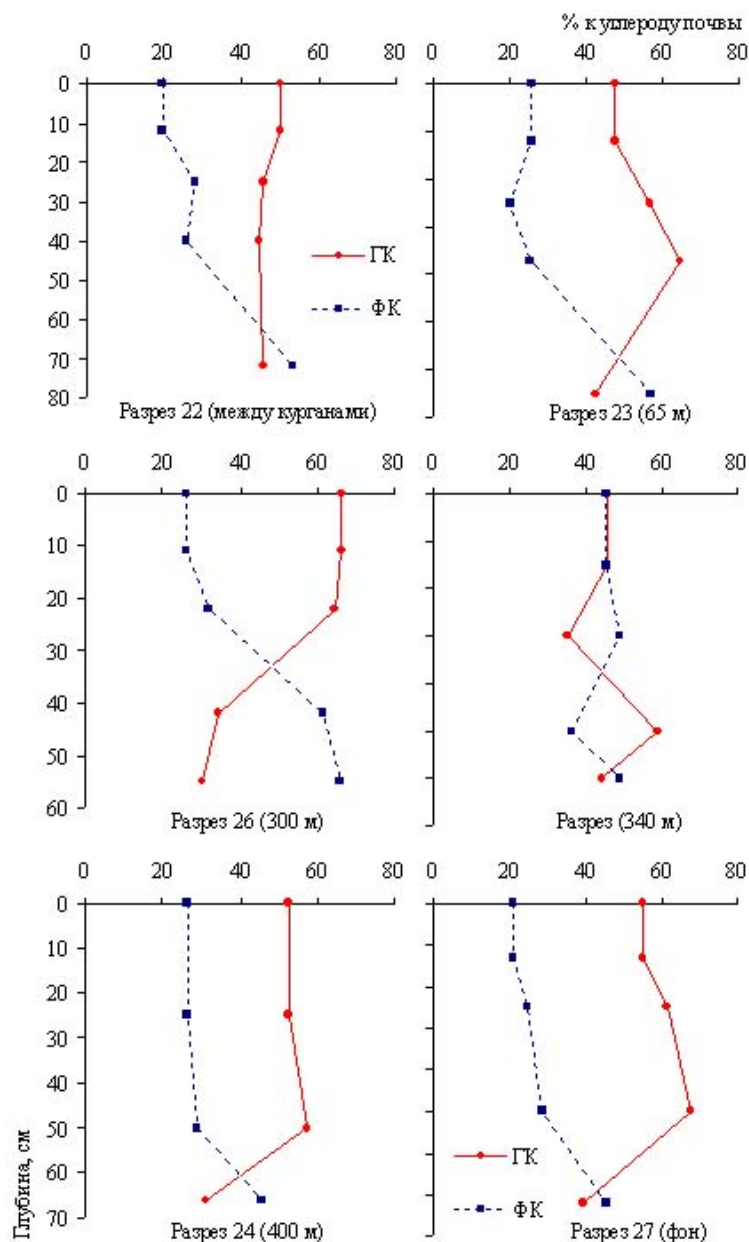


Рис. 3.2.10. Кривые распределения ГК и ФК по профилю разрезов вблизи могильника “Скаты”.

В целом же, как и в случае с другими уже рассмотренными нами выше свойствами почв, наибольшие отклонения от фоновых показателей (в данном случае – это наименьшая глубина пересечения кривых ГК и ФК в групповом составе гумуса) наблюдаются в месте наибольшего снятия 2,5 тысячи лет назад верхних почвенных горизонтов.

Во фракционном составе гумуса также наблюдаются общие закономерности, характерные для черноземных почв. Преобладающей фракцией является фракция ГК-2, минимальной – ГК-3. Содержание ГК-1 в верхнем горизонте можно охарактеризовать как очень низкое (разрезы 22 и 27) и низкое (разрезы 23-26). При этом ГК-1 более всего в разрезах 24, 25 и 26 – то есть на наиболее нарушенных участках (табл. 3.2.11). Содержание этой фракции уменьшается по профилю сверху вниз. Иначе распределяется по профилю фракция ГК-3 – процентное ее содержание не уменьшается, а увеличивается вглубь профиля при понижении общего содержания гумуса.

В профильном распределении ФК разных фракций также наблюдаются определенные закономерности. Во всех разрезах фракция агрессивных фульвокислот (ФК-1а) распределена однотипно, а ее содержание увеличивается вглубь профиля. ФК-1 и ФК-3 больше всего на наиболее нарушенном участке (р.26) и менее всего на наименее нарушенных участках и в фоне. Профильное распределение их различно. На нарушенных участках наблюдается наименьшее содержание фракции ФК-2, количество которых увеличивается вглубь профиля.

В.Р. Волобуев (1962) предложил для оценки различий в соотношениях между гумусовыми кислотами первой и второй фракций графический метод, который позволяет разделить почвы на группы с преобладанием той или иной фракции. Изученные нами почвы по соотношению $\text{ГК-1} + \text{ФК-1а} + \text{ФК-1}$ и $\text{ГК-2} + \text{ФК-2а} + \text{ФК-2}$ на три группы (рис. 3.2.11):

- 1) со значительным преобладанием вторых фракций (разрез 27 – фоновые ненарушенные почвы);
- 2) с незначительным преобладанием вторых фракций (разрезы 22, 23, 24 – относительно мало нарушенные почвы);
- 3) с преобладанием первой фракции (наиболее нарушенные почвы разрезов 25 и 26 – в 300-340 м от кургана).

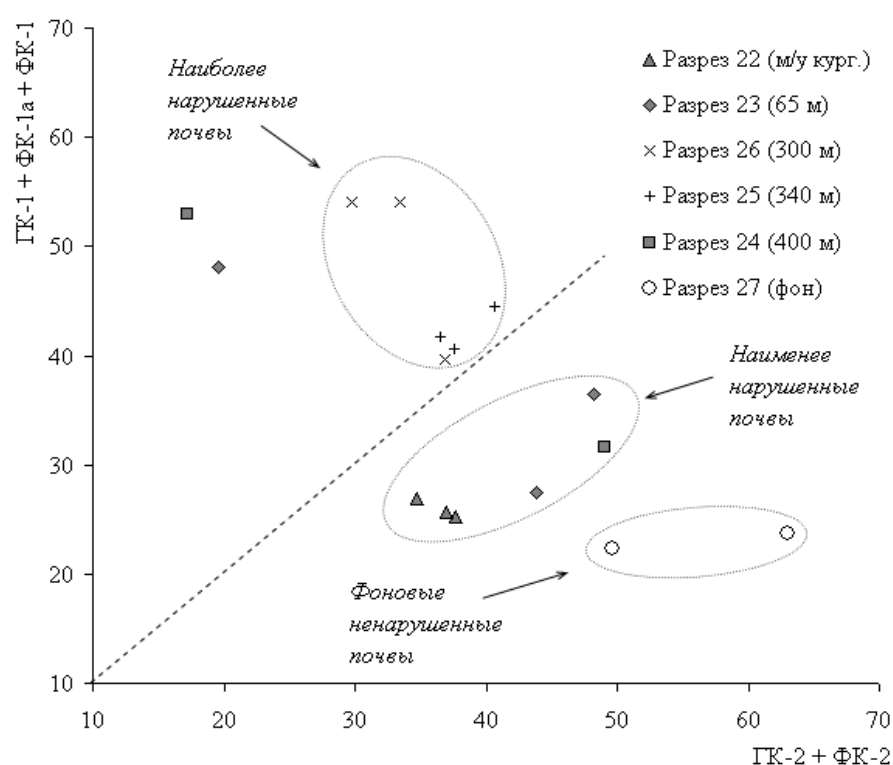


Рис. 3.2.11. Соотношение фракций ГК-1 + FK-1a + FK-1 и ГК-2 + FK-2a + FK-2 в гумусе почв вблизи могильника "Скаты".

Приведенные выше данные говорят о существовании и на современном этапе принципиальных различий между нарушенными в древности и ненарушенными почвами.

Таким образом, по качественному составу гумуса древние антропогенно нарушенные "эродированные" почвы также не достигают состояния фоновых, что проявляется в меньшем соотношении гуминовых кислот к фульвокислотам в групповом составе гумуса. Во фракционном составе наблюдается меньшее содержание в составе гумуса фракции ГК-2 и FK-2 и повышенное – ГК-1 и FK-1.

ОПТИЧЕСКИЕ ПЛОТНОСТИ ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ

Оптические плотности ГК характеризуют электронные спектры поглощения составляющих их макромолекул в диапазоне длин волн от 400 до 750 нм при концентрации углерода равной 1 мг/мл. Оптические плотности зависят от степени конденсированности макромолекул: наибольшая оптическая плотность характерна для ГК, имеющих наибольшую ароматическую часть, более развитую цепь сопряженных двойных связей и наибольшую степень окисленности (Орлов, 1992).

Показано, что в видимой части спектра оптические плотности ГК ослабевают с увеличением длины волны от 430 до 750 нм. Чем быстрее уменьшатся оптические плотности в области до 500 нм, тем более бурую окраску имеет раствор гуминовых кислот. При темной-серой окраске без бурых тонов спектр имеет вид более пологой кривой.

Считается, что более зрелые ГК имеют большую оптическую плотность по сравнению с более молодыми.

Курган “Бабий Бугор”

У новообразованных почв на участках с древними нарушениями вблизи кургана наблюдаются меньшие величины оптической плотности ГК всех трех фракций по сравнению с фоновыми значениями (табл. 3.2.12). Можно предполагать, что гуминовые кислоты гумуса почв на таких участках еще относительно “молодые”, находящиеся в стадии формирования. Стоит отметить, что на пахотных фоновых почвах этот показатель ниже, чем на целинных фоновых – этот вид нарушений также влияет на степень конденсированности макромолекул ГК.

В целях сравнительного сопоставления электронных спектров рекомендуется вычислять коэффициент цветности, численно равный отношению оптической плотности раствора при двух длинах волн (Орлов, 1992) и коли-

чественно характеризующий “кривизну” кривой светопоглощения. При этом наибольшей “кривизне” кривой, характерных для ГК, образованных в гумидных условиях, будут соответствовать наибольшие значения данного показателя (Дергачева, 1997). Нами вычислены коэффициенты цветности при длинах волн 465 и 670 нм. Коэффициенты цветности ($E_{440/670}$) в распаханых почвах с усеченным профилем принимают минимальные значения.

Таблица 3.2.12.

**Оптические плотности и коэффициенты цветности ГК
гумуса почв вблизи кургана “Бабий Бугор” для гор.А**

Показатель	Пахотные почвы вблизи кургана		Целинные почвы вблизи кургана	
	180 м	Фон	Вал	Фон
Оптические плотности ГК при длине волны 440 нм, 1 мг/мл С				
ГК-1	5,10	8,46	5,13	15,89
ГК-2	11,43	15,29	14,50	17,23
ГК-3	2,66	3,84	5,33	8,63
Коэффициенты цветности $E_{465/670}$, 1 мг/мл С				
ГК-1	2,88	4,69	4,94	4,43
ГК-2	2,78	2,63	2,92	3,05
ГК-3	2,77	2,88	3,65	2,52

Курганный могильник “Скаты”

Общим для всех гуминовых кислот является вывод о том, что оптические плотности ГК-2 как правило больше, чем ГК-1. ГК-3 занимают промежуточное положение, что характерно для черноземных почв.

В профильном распределении оптических плотностей ГК в почвах разных разрезов наблюдаются определенные особенности. В верхней части профиля эти величины больше, чем в нижней, при этом у ГК-1 это снижение происходит резко, а у ГК-2 и ГК-3 – более плавно. У нарушенных почв оптические

плотности ГК-1 резко снижаются уже к глубине 22-37 см, тогда как у зональных ненарушенных – только к глубине 50 см. Особенно быстро происходит уменьшение оптических плотностей ГК-1 в разрезе 26 – то есть в почвах с наибольшей мощностью снятых горизонтов. Аналогичная картина наблюдается и для ГК второй фракции, хотя и в более ослабленном виде.

Исследуемые почвы заметно различаются и по Е-величинам. Наибольшие их значения найдены у ГК-1. Кроме этого отмечено, что в верхней части пахотного горизонта (то есть в новообразованном гумусовом горизонте) эти значения у ГК-3 больше, чем у ГК-2, глубже такой зависимости не наблюдается.

Соотношение спектров поглощения ГК-1 к ГК-2 в $\text{гор.}A_{\text{пах}}$ позволяет выявить следующий ряд разрезов в сторону уменьшения и, следовательно, в сторону относительной молодости ГК: разрезы $22 \rightarrow 27 \rightarrow 24 \rightarrow 23 \rightarrow 25 \rightarrow 26$. Выстроенный ряд вновь отражает предполагаемую степень нарушенности почв.

По В.Р. Волобуеву наиболее перспективным направлением в почвоведении является изучение результатов взаимодействия между органическим и минеральным составом почв, именно оно определяет своеобразие генетического типа почв. А.Л. Александровой была предложена номенклатура гумусовых кислот по типам связи между органическим и минеральными компонентами. Было выделено три основных типа: гетерополярные соли, комплексно-гетерополярные соли и адсорбционные комплексы. Гетерополярные соли ГК взаимодействуют с катионами сильных оснований (Ca, Mg, K, Na), при этом в условиях нейтральной среды в солеобразовании участвуют карбоксильные группы; при щелочной – вовлекаются и фенильные гидроксилы.

М.М. Кононовой был предложен метод определения различий в строении ГК на основе определения порога осаждения ГК хлористым кальцием. Гетерополярные соли ГК в зависимости от природы самих кислот характеризуются различным порогом коагуляции и осаждения. На скорость реакции влияет соотношение в молекулах ГК сеток ароматического углерода, обладающих гидрофобными свойствами, и боковых радикалов, несущих группы с гидрофильными свойствами.

Нами были определены пороги коагуляции гуминовых кислот трех фракций через четыре часа (табл. 3.2.13). Порог коагуляции ГК-1 в разных почвах различен, сдвигаясь относительно зональных величин в ту или другую сторону в зависимости от свойств ГК. Хотя четко выделить по этому показателю почвы наиболее или наименее нарушенные не удалось. Пороги коагуляции ГК-2 различаются более сильно, особенно это касается почв разрезов 23 и 26 – с наименьшим интервалом концентрации хлористого кальция. У ГК третьей фракции этот показатель значительно меньше, чем у первых двух, что, по-видимому, объясняется их прочной связью с полуторными окислами. Свободных функциональных групп у них меньше.

Таблица 3.2.13.

**Интервалы порога коагуляции (через 4 часа) ГК по фракциям
(мг·экв CaCl_2 в пересчете на расчете на 1 л раствора,
содержащего 0,136 г углерода ГК)**

№ разреза	ГК-1	ГК-2	ГК-3
Разрез 22 (между курганами)	9 - 16	9 - 16	6 - 15
Разрез 23 (65 м от кургана)	10	5 - 9	11
Разрез 26 (300 м)	10 - 15	7 - 13	3 - 5
Разрез 25 (340 м)	8 - 17	4 - 5	3 - 4
Разрез 24 (400 м)	9 - 12	8 - 11	5 - 6
Разрез 27 (фон)	9 - 12	9 - 17	2 - 3

Для выявления различий в порогах коагуляции первой и второй фракции ГК было определено их соотношение графическим способом. Из рис. 3.2.12 видно, наибольшие различия по приведенным показателям наблюдаются между наиболее нарушенными (р.26) и фоновыми (р.27) почвами.

Изучение оптических плотностей ГК усеченных ("эродированных") прикурганных почв, характеризующих степень

зрелости их макромолекул, показало, что 2,5 тысяч лет недостаточно для их полного формирования.

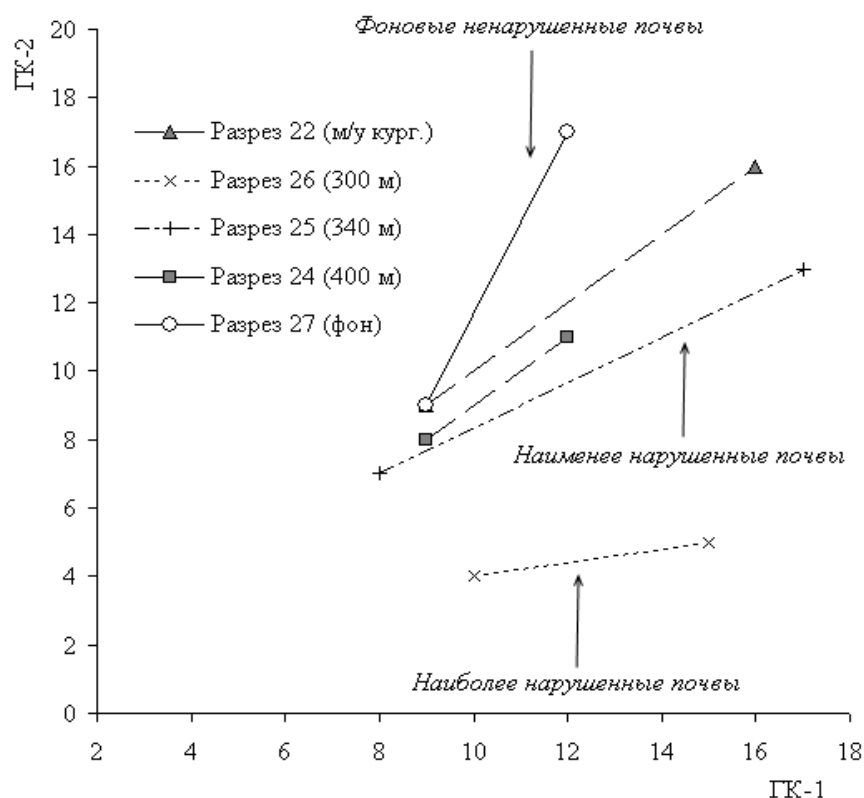


Рис. 3.2.12. Соотношение порогов коагуляции через 4 часа по фракциям. гумуса почв вблизи могильника "Скаты".

Подводя итог изучению усеченных 2,5 тысячи лет назад почв, с которых снимались верхние гумусовые горизонты (что позволило поставить их в один ряд с эродированными почвами), можно заключить следующее. За 2,5 тыс. лет антропогенно измененные почвы вблизи крупных курганов ("эродированные" почвы) не достигают фоновых показателей по ряду изучаемых морфологических и физико-химических свойств. В ходе исследования показаны значительные площади древних антропогенных нарушений, связанные со срезкой верхней части гумусовых горизонтов на территории примыкающей к кургану "Бабий Бугор".

За указанное время в условиях изучаемых археологических памятников сформировались почвы по своим свойствам близкие к зональным черноземам выщелоченным. Тем не менее, по своему облику новообразованные за 2,5 тысячи лет почвы не достигли фоновых голоценовых и заметно отличаются от них по ряду показателей.

В 2,5-тысячелетних почвах сложился набор генетических горизонтов, характерных для зональных черноземов выщелоченных, происходит дифференциация гумусового горизонта на гор.А и В₁, но гумусовые затеки гор.В₂ выражены слабее, чем в фоновых почвах. Средняя интенсивность гумусообразования составляет 0,88 – 1,44 см гумусового горизонта 100 лет.

Новообразованным почвам, в отличие от фоновых голоценовых, характерны следующие особенности:

1. По морфологическим свойствам:

- меньшая мощность гумусовых горизонтов;
- слабая дифференциация на горизонты;
- меньшая глубина залегания карбонатного горизонта.

2. По агрохимическим показателям:

- меньшее количество доступных растениям биофильных элементов;
- меньшие запасы гумуса.

3. По показателям качественного состава гумуса:

- указанного времени недостаточно для формирования “типовой” молекулы гуминовых кислот;
- оптические плотности, характеризующие зрелость ГК, у гумуса таких почв, как правило, меньше.

4. По гранулометрическому составу почв:

- этого времени недостаточно для полной дифференцировки профиля по гранулометрическому составу;

- содержание илистой фракции в верхних горизонтах обычно превышает фоновое.

5. По валовому химическому составу:

- содержание биофильных элементов в таких почвах обычно ниже фонового.

Широкое распространение таких почв указывает на необходимость найти им место в классификации почв России (2004), где они не выделяются самостоятельным таксоном. В соответствии с новой классификацией (Классификация и диагностика почв России, 2004; Лебедева и др., 2005) почвы с механически срезанными верхними горизонтами (абразией) вблизи кургана непосредственно после его строительства могли бы быть отнесены к отделу абраземов. После длительной постантропогенной эволюции указанных почв под влиянием природных факторов они попадают под разряд реградированных абраземов. И, наконец, последующая их распашка на современном этапе освоения позволяет отнести такие почвы к *агроабраземам аккумулятивно-карбонатным реградированным*.

В то же время, такие “эродированные” почвы с сохранившейся нижней частью профиля, которые мы наблюдали вблизи крупных курганов, быстрее приближаются к фоновым показателям, чем новообразованные за тот же срок, но формирующиеся на “чистых” выбросах почвообразующих пород (на валах). Такие почвы были нами изучены на оборонительных и ритуальных валах. Следовательно, при разных типах нарушений указанные признаки могут по-разному себя проявлять, даже при условии одинакового возраста нарушений. Поэтому далее нами будут рассмотрены другие типы древних нарушений почвенного покрова, в частности – так или иначе связанные с загрязнением почв антропогенным веществом. Интерес к подобного рода исследованиям вызван масштабными современными процессами загрязнения почв и необходимостью оценки их дальнейшего развития.

3.3. Особенности формирования почвенного покрова в местах длительного проживания древнего человека

Места длительного проживания человека характеризуются наличием в них так называемого культурного слоя.

Культурный слой (КС) – продукт длительного (зачастую – многовекового) процесса преобразования почв в результате биологической, хозяйственной и производственной деятельности человека. КС формируется из материала исходной почвы (заполнителя, природного почвенно-литологического компонента), а также артефактов (или вещественных остатков) и следов жизнедеятельности человека (антропогенный компонент).

Несмотря на значительный возраст археологических памятников, почвы древних поселений и за их пределами надежно сохраняют различные давние нарушения целостности почвенного профиля, главным образом именно в КС, в котором также могут присутствовать различные включения, связанные с деятельностью древнего человека. В течение длительного времени, прошедшего с момента захоронения, неизбежно шел процесс их разложения и минерализации под воздействием различных агентов: микроорганизмов, гумусовых кислот, окислительно-восстановительных реакций и т.д.

Для изучения таких процессов В.И. Ивановым была предложена концепция археологического вещества (как частного случая антропогенного вещества) как маркера различных почвенных, и в том числе – почвообразовательных процессов. Суть концепции в том, что продукты разрушения археологического материала (керамики, костей, древесины) являются индикаторами различных природных процессов (разложения, минерализации, миграции,

синтеза и др.), происходящих в почвах, позволяя оценивать их скорость, продолжительность, направленность, интенсивность.

Разложение включений (артефактов) идет с разной скоростью в разных климатических зонах и на разных почвообразующих породах. Например, в таежной зоне в условиях сильного промывного типа водного режима, при преимущественном образовании фульвокислот и на легких почвообразующих породах, они практически полностью минерализуются за сравнительно короткое время и на местах древних поселений не фиксируются морфологически.

В условиях лесостепной зоны, при непромывном или периодически промывном типе водного режима на суглинистых почвообразующих породах, процессы разложения вещественных остатков деятельности древнего человека и последующей их миграции по профилю будут существенно замедляться (по сравнению, например, с таежной зоной). Можно полагать, что в итоге произойдет их полное разрушение и последующая минерализация, после чего они будут фиксироваться только аналитическими методами.

В соответствии с масштабами антропогенные нарушения могут быть условно отнесены к следующим трем уровням:

1. *Нарушения на уровне КС (нарушения на наноуровне)*. К ним относятся антропогенные изменения, которые затрагивают почвы внутри археологического объекта в радиусе от сантиметров до десятков сантиметров. В большинстве случаев к такого рода нарушениям будет относиться “загрязнение” почв антропогенным материалом. К таким условным “загрязнителям” могут быть отнесены различные *артефакты* или *вещевой материал* (археологическая терминология): отдельные кости и скопления костей; практически целые глиняные горшки, развалы горшков и отдельные фрагменты керамики; фрагменты древесины, столбовые ямки, уголь, зола, а также различные изделия из камня, глины, металла и их фрагменты. Почвоведрами такие нару-

шения (артефакты) принято обозначать как *антропогенные включения* (по Розанову, 2004).

2. *Нарушения на уровне объекта (микроуровень)*. Это антропогенные нарушения, которые прослеживаются в КС археологических объектов в радиусе метров и десятков метров. К таковым могут быть отнесены жилищные и могильные впадины, обваловки жилищ, хозяйственные ямы, канавки и другие нарушения, которые чаще всего предполагают наличие перемешанных (турбированных), изъятых или насыпанных почвенных горизонтов на относительно небольшой площади.

3. *Нарушения на уровне ландшафта (нарушения на мезо- и макроуровне)*. К ним относятся древние антропогенные изменения почв, которые прослеживаются в ландшафте в пределах от десятков метров до километров. К ним относятся собственно археологические объекты: стоянки, поселения, селища, городища, могильники, курганы; оборонительные сооружения городищ, прилегающий к ним посад, прикурганные территории и т.д.

Рассматривая далее антропогенные нарушения почв, мы будем вести речь о тех из них, которые связаны с деятельностью представителей саргатской культуры, населявших территорию Зауралья и Западной Сибири около 2,5 тысяч лет назад. Поэтому ниже подробнее остановимся только на характеристике поселений саргатцев.

Древние саргатские поселения обычно располагались по берегам рек, озер, стариц, ручьев. При этом количественно преобладают неукрепленные поселения; доля укрепленных составляет на территории этой культуры 11 - 26 %.

Среди них наиболее часто встречаются так называемые мысовые городища, которые приурочены к коренной террасе, имея поперечную незамкнутую систему обороны, что обусловлено необ-

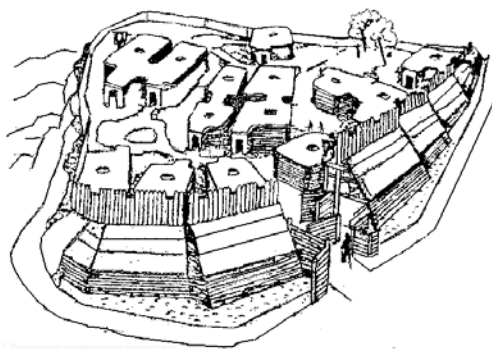


Рис. 3.3.1. Реконструкция городища раннего железного века (по Хабдулиной, 1994).

ходимостью наиболее рационального использования природных возможностей. Чаще всего они были приурочены к высоким (до 20 - 30 м) коренным террасам. Площадь укрепленных территорий колеблется от 4 до 9 тыс. м², редко – до 12 тыс. м². Мощность КС – от 30 до 70 см, вместе с заполнениями объектов – до 120 см (Корякова, 1988; Корякова, Сергеев, 1993). Городища саргатской культуры, по-видимому, не были местами постоянного проживания всего населения и строились для защиты его части от эпизодических набегов (Матвеева, 2005). Городища и поселения можно рассматривать как природно-антропогенные комплексы, наиболее полное отражающие систему жизнеобеспечения древнего населения (Чикунова, 2006).

Среди жилищ саргатского населения преобладают жилища полуземляночного типа (с углублением в материк более чем на 30 см). Примерно четверть составляют жилища наземного типа. Наибольшую часть составляют однокамерные постройки, меньшую – двух- и трехкамерные, средней площади 20 - 30 м², редко – до 100 м². Обычно в центре жилого помещения нахо-

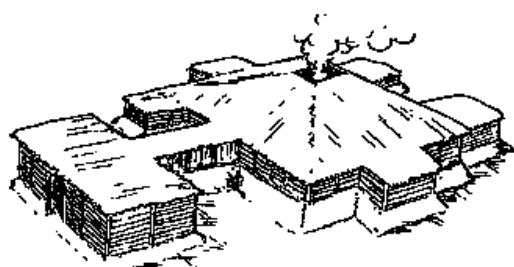


Рис. 3.3.2. Реконструкция жилища саргатского времени (по Коряковой, 1997).

дился один очаг, иногда – от двух до четырех. Кроме жилых построек внутри поселений часто встречались хозяйственные постройки различного, часто невыясненного, назначения.

Но наиболее ярко в современном состоянии древние нарушения находят свое отражение в сохранившихся оборонительных сооружениях (фортификациях) укрепленных поселений и городищ народов, населявших Западную Сибирь с бронзового века до средних веков.

В рамках детального изучения антропогенно измененных почв мест длительного проживания человека нами подробно исследовались почвы Павлинова городища.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ

Археологический памятник “Павлиново городище” находится в Шатровском районе Курганской области на высоком мысовидном уступе левого берега р.Исеть на севере лесостепной зоны Зауралья и представляет собой замкнутый многоугольник, окруженный остатками оборонительных сооружений. Городище относят к поселению саргатской культуры, преимущественным занятием представителей которой считается скотоводство. Площадь городища – свыше 3 тыс. м², вместе с фортификациями – 7 тыс. м². Вокруг собственно городища разбросано более 100 жилищных впадин, образующих посад. Оборонительная система состояла из двух линий, включающих вал и ров. Внутренний ров имел ширину 2,2 м и около 2,0 м в глубину. Активное функционирование городища относится, по данным археологов, к III в. до н.э. или 2,3 тыс. л.н. (Корякова, Дэйр, 2003; Ковригин, 2003).



Рис. 3.3.3. Схема расположения Павлинова городища.

Прежде чем перейти к вопросам, связанным с восстановлением нарушенных почв в местах длительного проживания человека, необходимо познакомиться с характером субстрата, на котором формируются новообразованные почвы. Таким субстратом на таких объектах в большинстве случаев является культурный слой. Поэтому в первую очередь рассмотрим морфологические и химические особенности КС (антропогенные нарушения на нано-уровне).

1. Антропогенные нарушения на уровне культурного слоя

Как уже говорилось выше, к такого рода нарушениям относятся антропогенные изменения, которые затрагивают почвы внутри археологического

объекта в КС. Культурный слой по площади может занимать до половины всех древних нарушений и до десятых долей площади ландшафта; мощность КС может достигать полутора метров, что зависит от длительности функционирования объекта, от его назначения, от характера хозяйствования населения, от природных условий. Необходимость изучения КС антропогенно нарушенных почв продиктована огромной его значимостью как носителя археологических и природных особенностей: он несет информацию как об исторических процессах, так и о природной обстановке периода его образования (Иванов, 1992; Сычева, 1994; Демкин, 1997 и др.). Поэтому в ходе археологических исследований крайне полезно изучать не только вещественные остатки КС, но и его морфологические и физико-химические свойства.

Непосредственно на территории Павлинова городища была заложена серия почвенных разрезов для характеристики антропогенно-преобразованных и новообразованных почв, при этом имелась возможность их изучения как на территории внутри городища, где их формирование шло фактически на КС (то есть на “загрязненном” антропогенным веществом субстрате), так и на выкидах относительно “чистой” почвообразующей породы, выброшенной на внешнюю сторону от оборонительных сооружений. Изучение таких почв может дать представление о том, насколько различаются темпы восстановления плодородия “загрязненных” и “незагрязненных” почв. Все изучаемые почвенные разрезы имеют сложное строение.

В профиле антропогенно нарушенных почв, как правило, фиксируются:

- погребенные гумусовые горизонты различной степени сохранности;
- культурный слой (КС) ;
- новообразованные гумусовые горизонты.

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

По своим морфологическим характеристикам в районе археологического памятника “Павлиново городище” сформированы *черноземы мало-мощные выщелоченные средне- и малогумусные*, которые являются зональными для данного района. Карбонатный горизонт плохо выражен и находится ниже горизонта В₁. Почвообразующими породами служат легкие суглинки. Ниже приводится морфологическое описание зонального (фонового) разреза, заложенного на естественном склоне к реке Исеть, на одном уровне с городищем, примерно в 2,5 км к юго-западу от последнего.

Разрез 19-01. Зональный.

А_д 0-7 см. Темно-серый. Рыхлый; состоит из растительных остатков разной степени разложения и частично из минеральной массы. Многочисленные корни. Снимается слоем. Переход в следующий горизонт по цвету и плотности.

А 7-20 см. Темно-серый, рыхлый суглинок. Структура комковато-ореховатая, плохо выраженная. Многочисленные корни растений, норы. Граница перехода в следующий горизонт по цвету, едва уловимая, ровная.

В₁ 20-36 см. Темно-серый суглинок, практически не отличается от вышележащего, чуть светлее. Структура комковато-ореховатая. Многочисленные корни растений. Переход в следующий горизонт по появлению гумусовых затеков.

В₂ 36-51 см. Горизонт затеков. Затеки неясные, темно-серого цвета на общем желтовато-сером фоне. Рыхлый, непрочно-комковатый; встречаются корни растений. Переход в следующий горизонт по окончанию затеков, постепенный, неровный.

ВС 51-71 см. Переход к почвообразующей породе. Желтовато-серый, плотный, суглинистый. Структура – непрочно-комковатая, корней немного. Граница перехода в нижележащий горизонт нечеткая, по цвету и плотности.

С 71-150 см. Материнская порода. Однородный, коричнево-рыжеватый, очень плотный. Карбонатный горизонт не выявлен.

Непосредственно на территории Павлинова городища была заложена серия почвенных разрезов для характеристики антропогенно-преобразованных почв. Все изучаемые почвенные разрезы имеют сложное строение. В профиле таких почв фиксируются погребенные гумусовые гори-

зонты различной степени сохранности, КС, а также новообразованные горизонты. Морфологически КС обычно достаточно хорошо отличается от ненарушенных горизонтов почв. Ниже перечислены его характерные морфологические признаки.

Основные отличительные морфологические признаки КС мест длительного проживания древнего человека:

- наличие пятен различной формы и цвета;
- разной степени пестрая окраска, обусловленная перемешиванием различных почвенных горизонтов;
- слабая структурированность или полное отсутствие структурированности почв;
- наличие различных антропогенных включений (костей, керамики, древесины, камней и др.)

В жилищах Павлинова городища мощность КС максимальна и составляет 42 - 58 см. Характерная черта КС в жилищах – интенсивный темно-серый цвет наряду с относительно слабой пестротой и пятнистостью. Такие особенности обычно связаны с тем, что основу КС жилищ составляет обрушившаяся кровля с высоким содержанием органического вещества (кровля, по-видимому, была сложена из вырезанных кусков дерна). Кроме того, в жилищах очень часто фиксируются сцементированные образования серого и темно-серого цвета (часто со ржавыми оттенками), вскипающие от соляной кислоты – очаги и зольники. КС жилищ наиболее насыщен вещественными остатками: остеологическим материалом, керамикой, остатками древесины и другими. Характерные особенности каждой из этих групп антропогенных включений будут рассмотрены далее.

Почвенные профили внутри городища чаще всего характеризуются наличием под дерниной слоистого горизонта мощностью от четырех до 20 – 25 см (к центру городища его мощность увеличивается), обозначенного нами

как гор.А наносной. Предположительно – это слой намыва илистых и песчаных отложений при больших разливах реки Исеть. Ниже приведено морфологическое описание типичного в данном отношении разреза.

Разрез 8-01. На территории городища.

А_д 0-(2-3) см. Дернина, густо переплетена корнями, сухая. Структура мелко-комковатая, непрочная; суглинок опесчаненный. Граница перехода в следующий горизонт резкая, по цвету и плотности.

Ананос (2-3)-25 см. Серый, слоистый: отдельные прослойки серого цвета, перемежающиеся с прослойками желтого цвета мощностью от 10-20 мм до 1-5 см. В нижней части аллювиального слоя прослойки выражены более четко за счет увеличения желтоватых слоев. Сухой, плотный, мелко-комковатой структуры, встречаются мелкие корни. Переход резкий, по цвету. Граница перехода ровная.

КС 25-35 см. Наиболее гумусированная часть гумусового горизонта. Темно-серый, опесчаненный суглинок с более светлыми и коричневатыми пятнами неизвестного происхождения. Мелко-комковатая структура, сухой, пылит, отдельные тонкие корни. Встречены норы землероев. Граница перехода в следующий горизонт постепенная по осветлению темно-серого цвета.

КС 35-47 см. Чуть светлее вышележащего, опесчаненный суглинок, сухой, пылит. Структура мелко-комковатая, непрочная. Граница перехода в следующий горизонт неровная, волнистая, четкая. Встречены кости, имеются следы землероев.

КС 47-61 см. Палево-серый (белесоватый по сравнению с вышележащим). Цвет неоднороден – более светлые участки чередуются с более темными. Имеются единичные желтые пятна. Встречаются белесые округлые пятна. Опесчаненный суглинок, более рыхлый, чем вышележащий. Вне места отбора слой меняет цвет на серо-коричневый, встречаются косточки.

[А+В₁] 61-79 см. Остаток исходного погребенного гумусового горизонта, на котором формировался культурный слой. Серый с желтым оттенком. Цвет неоднороден: встречаются отдельные пятна более желтоватого оттенка, диаметром до 5 см, на расстоянии примерно 60 см друг от друга (бывшие норы землероев). Плотный, сухой (пылит) опесчаненный суглинок. Переход в следующий горизонт резкий, по цвету, граница перехода затечная.

[В₂] 79-103 см. Горизонт затеков – в верхней части сероватые до глубины 88 см, ниже – отдельные гумусовые языки до глубины 103 см. В этой части преобладает желто-

ватая окраска с отдельными пятнами землероев, свежий опесчаненный суглинок, почти бесструктурный. Граница перехода вглубь по желтому цвету, не выражена.

BC 103-150 см. Желтый, свежий, бесструктурный опесчаненный суглинок с темными пятнами землероев.

За пределами жилища мощность КС колеблется от 14 до 51 см (чаще всего не превышая 26 - 32 см). Почвенные разрезы, заложенные на оборонительных сооружениях Павлинова городища, также имеют сложное строение. Высота оборонительных валов невелика и в современном состоянии не превышает полуметра. Под новообразованным гумусовым горизонтом фиксируется собственно насыпь вала, неоднородная по цвету и плотности, неструктурированная, с различными включениями. В толще насыпи валов прослеживается тонкий слой золы: по-видимому, остатки сгоревших деревянных укреплений. Ниже насыпи находятся различной сохранности погребенные горизонты.

Ниже будет приведено морфологическое описание разреза, заложенного на внешнем оборонительном валу. Высота вала – до 50 см, ширина – 3 - 3,5 м. Общее впечатление – сильно переработанная антропогенно нарушенная почва. Имеет сложное строение, в середине профиля (в насыпи вала) можно выделить несколько слоев разного цвета, по сути являющихся КС. Погребенная почва в нижней части профиля имеет очень много ходов роющих животных, засыпанных темной почвенной массой.

Разрез 9-01. Внешний оборонительный вал.

A₀ 0-5 см. Темно-серый, зернистая структура, опесчаненный суглинок, много корней, средней рыхлости. Переход в следующий горизонт по большей плотности.

A 5-14 см. Темно-серый, очень плотный опесчаненный суглинок. Много корней структура непрочно-комковатая.

Насыпь 14-23 см. На темно-сером фоне проявляются желтые пятна почвообразующей породы.

Насыпь 23-53 см. Разной степени неоднородно окрашенный горизонт: темно-серые и светло-серые пятна, возможно это золистый горизонт. Встречены кости лошади, коровы, а также керамика.

[A+B₁] 53-73 см. Также неоднородно окрашенный горизонт из серых и темно-серых пятен. Возможно – погребенная почва.

[B₂] 73-93 см. Горизонт затеков из желтоватого фона и серых и темно-серых языков. Встречены пятна норных животных (суслики).

Глубже 93 см – желтая порода со средними размерами нор (5 - 8 см), заполнен темной массой.

Оборонительный ров слабо прослеживается в рельефе, тогда как первоначальная его глубина, по-видимому, составляла более полутора метров. Ров заполнен почвенной массой, оползающей с валов. Такие языки различной формы, цвета и плотности легко просматриваются в заполнении рва. Дно рва (глубина 161 см) заполнено темным содержимым, плотным, илистым; фиксируются различные антропогенные включения. Далее приводится морфологическое описание разреза, заложенного во рву.

Разрез 24-01. Оборонительный ров.

Ад 0-2 см. Рыхлый, сухой, густо переплетён корнями, снимается слоем, супесь. Граница перехода ровная, по плотности и цвету.

А 2-16 см. Темно-коричневый, очень плотный, многочисленные корни. Граница перехода в следующий горизонт ровная, по цвету.

В₁ 16-38 см. Темно-серый, менее плотный, встречаются корни растений.

В₂ 38-73 см. Темно-серый, не отличается от вышележащего.

73-95 см. Состоит из слившихся светло-серых пятен. Менее плотный, чем вышележащие горизонты. По-видимому это – сползающий край вала.

95-(110-120) см. Темный, с многочисленными затеками, пятнами. Рыхлый. Переход в следующий горизонт по цвету.

(110-120)-129 см. Желто-серая материковая полоса, по-видимому – оползший край вала.

129-161 см. Темный, в смеси с серыми, желтыми, черными пятнами, полосками, затеками. Чуть плотнее вышележащего. Переход в следующий горизонт ровный, по цвету.

С 161-183 см. Желтый, очень рыхлый, сырой.

ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Как и для прикурганных почв, в этом разделе будут рассмотрены такие важнейшие химические показатели, отвечающие за плодородие почв, как кислотность почв, содержание в них доступных растениям соединений фосфора и калия, содержание гумуса, а также валовой химический состав почв. В первую очередь на первом этапе изучения КС антропогенно нарушенных почв необходимо установить его общие отличия в химическом отношении от ненарушенных фоновых почв.

ОБЩИЕ ОСОБЕННОСТИ КУЛЬТУРНОГО СЛОЯ

Для изучения общих особенностей почвенные образцы в КС Павлинова городища отбирались через равные расстояния (0,5 м и 1,0 м) в соответствии с расчерченной горизонтальной сеткой. Полученные результаты усреднялись и сравнивались с соответствующим по глубине изучаемому КС горизонтом зонального разреза 19-01 (гор.В₂, глубина 36 - 51 см).

В результате исследований показано, что КС городища значительно отличается от фоновых почв по ряду химических показателей (табл. 3.3.1).

Таблица 3.3.1.

**Химические показатели культурного слоя Павлинова городища
в сравнении с соответствующими по глубине фоновыми показате-
лями**

Место отбора образцов	pH		P ₂ O ₅	K ₂ O	Na ₂ O	C, %	Сум. осн., мг-экв/100г
	H ₂ O	KCl	мг/100 г				
Среднестатистический КС (n = 164)	7,27	не опр.	101,37	38,36	7,87	1,33	34,05
Соответствующий КС горизонт фонового р.19-01	7,01	6,50	10,09	2,23	1,80	1,03	7,33

Следовательно, в химическом отношении почвы КС древних поселений оказались отличными от фоновых ненарушенных почв.

Прежде всего это выражается в большей обеспеченности:

- подвижными формами фосфора (в КС Павлинова городища – в среднем в 10 раз выше фоновых значений);
- обменными формами калия (в 17 раз выше);
- обменными формами натрия (в 4 раза);
- органического углерода (гумуса) (в 1,3 раза);
- обменными основаниями (Ca^{2+} , Mg^{2+}) (в 4,7 раза);
- более щелочными (концентрация $[\text{H}^+]$ ниже фоновых показателей в 2 раза).

Все эти различия так или иначе отражают в себе активную преобразующую деятельность древнего человека.

Несмотря на то, что в данном случае речь идет только о культурном слое Павлинова городища, подобные закономерности наблюдаются на большинстве изученных нами археологических объектах, связанных с длительным проживанием древнего человека. Особо стоит отметить, что указанные превышения и даже соотношения между теми или иными показателями наблюдаются в КС памятников, датируемых не только ранним железным веком (каким является Павлиново городище), но и в более широком временном интервале: от раннего средневековья до поздней бронзы.

На величину отклонения по тому или иному показателю оказывают влияние следующие основные факторы:

1. *Гранулометрический состав почвообразующих пород.* Гранулометрический состав определяет большинство физических свойств почв, а также в значительной степени – и химические, в том числе – поглонительную спо-

собность почв. Для почвенно-археологических исследований это очень важно, так как от этого будет зависеть способность почв удерживать соединения антропогенного происхождения. Для песков и супесей она будет минимальна, для суглинков и глин – максимальна.

2. Длительность и (или) интенсивность функционирования объекта. Чем дольше существовало поселение или городище, чем крупнее оно было, тем большие наблюдаются изменения в химическом отношении.

3. Характер хозяйствования населения. Все изученные нами объекты характеризуются, по мнению археологов, преимущественно скотоводческим характером жизнеобеспечения. Но можно предположить что в случае другого типа хозяйствования (охотничье-промыслового, земледельческого, рыболовства и др.) акцент будет смещен в сторону того или иного “загрязнителя”. Так, в литературе встречаются данные о том, что в случае, например, охоты, как основного типа промыслов жителей поселения, на первое место из этих элементов выходит фосфор.

4. Характер функционального использования каждого конкретного участка поселения. В зависимости от функциональной зоны внутри поселения (жилище, межжилищное пространство, мусорная свалка) или внутри жилища (кухня, пространство у очага, погреб и т.д.) характер и величина загрязнения будут разными. Подробнее речь об этом пойдет при характеристике антропогенных нарушений на уровне объекта.

Основной причиной всех химических отклонений в КС является наличие в нем продуктов разложения различных продуктов жизнедеятельности человека. Естественно, что пространственное их распределение внутри поселений будет неравномерным – именно поэтому по химическим признакам КС характеризуется большой пестротой, а приведенные выше значения для КС Павлинова городища отражают лишь средние величины.

В силу своей специфики КС характеризуется широким разбросом всех изучаемых показателей, при этом отклонения от среднего могут быть достаточно большими. Это связано не только с дополнительным внесением материала (остатки построек, бытовой мусор, хозяйственные и бытовые отходы и др.), но и с простым механическим перемешиванием исходных почвенных горизонтов. В табл. 3.3.2 приведены некоторые статистические показатели применительно к КС Павлинова городища, отражающие широкую вариативность изучаемых признаков.

Таблица 3.3.2.

Некоторые статистические показатели КС Павлинова городища

Статистический показатель		P ₂ O ₅	K ₂ O	Na ₂ O	Угле- род, %	pH	Ca ²⁺ , Mg ²⁺
		мг/100г				H ₂ O	мг-экв/100г
В пределах городища (вне жилища) (n = 120)							
макс. значение	max	375,38	71,00	25,00	3,72	8,02	40,85
мин. значение	min	28,88	20,00	5,50	0,09	6,68	29,20
среднее арифм.	M	99,26	41,53	7,80	1,50	7,31	34,78
вариаци. коэфф., %	V	61,17	26,12	32,50	43,82	56,27	6,29
Среднее по КС жилища (n = 44)							
макс. значение	max	119,08	57,00	16,45	3,63	7,59	40,85
мин. значение	min	37,68	20,00	5,50	0,09	6,90	31,10
среднее арифм.	M	89,06	37,91	7,71	1,85	7,21	35,94
вариаци. коэфф., %	V	20,76	23,88	29,96	38,54	37,69	7,03

Именно в связи с наличием такого рода неоднородностей связано выделение второго этапа исследования КС Павлинова городища – выделение отдельных групп антропогенных нарушений (“загрязнителей”) и изучение их влияния на формирование химической неоднородности КС.

ХАРАКТЕРИСТИКА ОТДЕЛЬНЫХ ГРУПП

АНТРОПОГЕННЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ В КУЛЬТУРНОМ СЛОЕ

Для аналитических исследований были выбраны четыре основные морфологически фиксируемые группы нарушений в КС, среди которых можно выделить (по Сычевой, 1994) *вещественные остатки* (очаги, кости и глиняные горшки), а также *следы жизнедеятельности* (столбовые ямки). На рис. 3.3.4 приведены точки отбора образцов в раскопе городища. На нем также можно видеть контуры жилищ, ям, других функциональных зон.

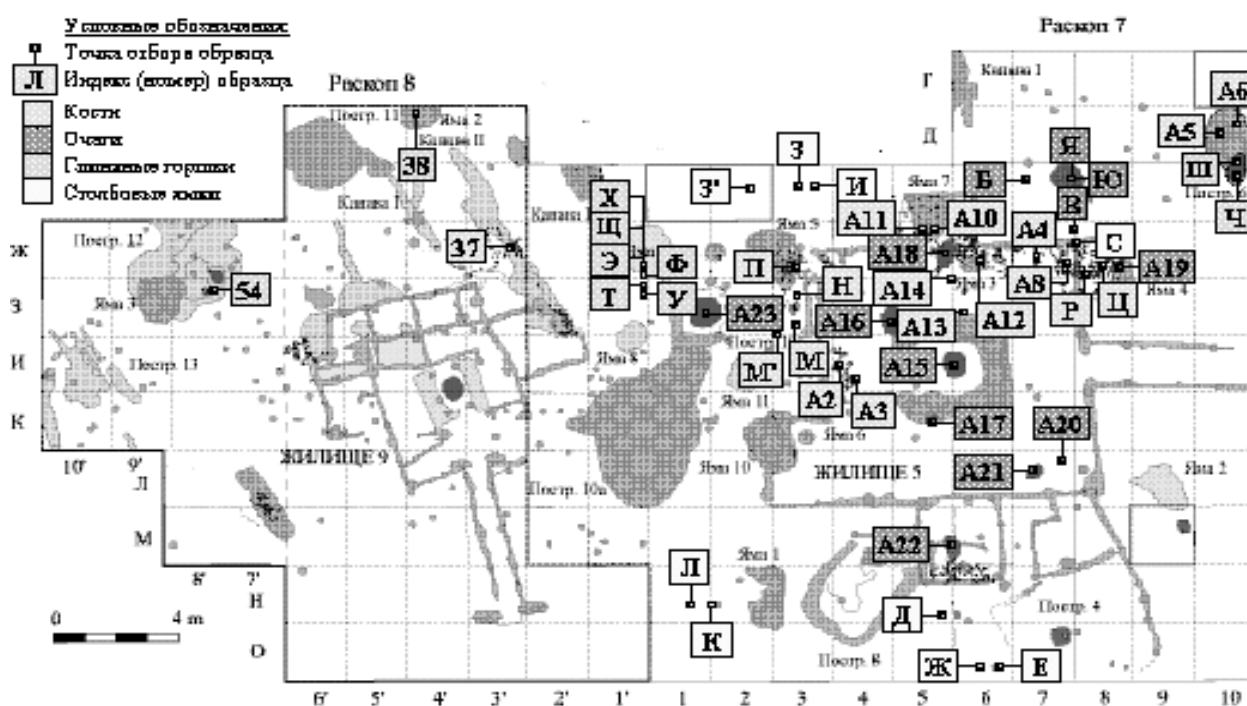


Рис. 3.3.4. Общий план раскопов Павлинова городища (Hanks, 2003) с указанием точек отбора образцов.

Прежде всего рассмотрим влияние антропогенных включений на те или иные свойства почв непосредственно в центре их местонахождения (в центре очагов, между костями и непосредственно под ними, в заполнении горшков и в центре столбовых ямок). В табл. 3.3.3 приводятся основные химические характеристики указанных групп антропогенных нарушений. При этом приведены только средние значения показателей и только для образцов,

отобранных непосредственно из центра “загрязнителя”. Полученные показатели сравнивались как с соответствующим по глубине горизонтом фоновых почв, так и со среднестатистическими показателями КС.

Таблица 3.3.3.

**Средние химические показатели образцов, отобранных
непосредственно из центра участков с антропогенными включениями**

Антропогенные включения	pH	P ₂ O ₅	K ₂ O	Na ₂ O	Угле- род, %
	H ₂ O	мг/100г			
Между костями и под костями	7,29	326,57	47,86	13,21	1,12
Центры крупных очагов	7,60	280,40	83,50	28,00	0,55
Заполнение глиняных горшков	6,98	278,56	23,82	11,09	1,24
Заполнение столбовых ямок	7,16	101,25	65,00	8,75	2,09
Среднестатистический КС	7,27	101,37	38,36	7,87	1,33
Соответствующий КС горизонт фона	7,01	10,37	2,23	1,80	1,03

Как видно, особенности отдельных участков КС не могут быть объяснены простым механическим его перемешиванием, а определяются спецификой продуктов разложения антропогенных включений (артефактов). Таким образом, все изученные группы нарушений значительно отличаются между собой по каждому из показателей. В то же время, стоит еще раз отметить, что в таблице приведены только средние значения, разброс же значений, как видно из рис. 3.3.5, достаточно высок.

Как уже говорилось, в течение длительного времени, прошедшего с момента захоронения, шел процесс разложения и минерализации антропогенных включений. Продукты минерализации могут мигрировать в почвенном профиле с разной скоростью в различных направлениях и на разные расстояния. Для исследования этого процесса в ходе дальнейшего изучения КС Павлинова городища нами была дана подробная характеристика каждой из групп “загрязнителей” и прослежена миграция продуктов их разложения и

минерализации на определенном расстоянии от них как по горизонтали, так и по вертикали за промежуток времени в 2,3 тыс. лет.

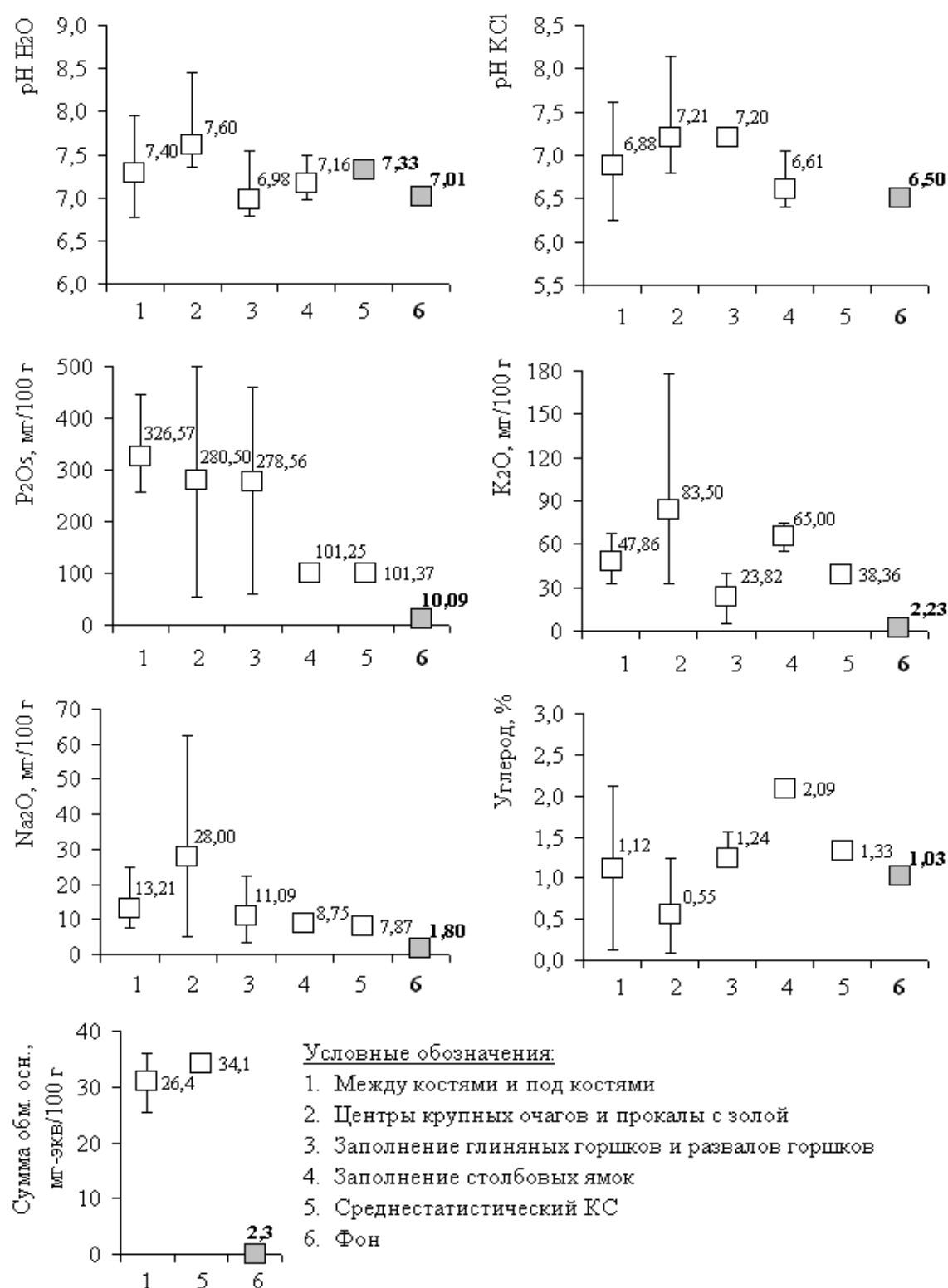


Рис. 3.3.5. Средние значения химических показателей и их разброс для различных "загрязнителей" КС Павлинова городища.

Для этого выявлялись отличия химических свойств почв в месте данных нарушений в сравнении с параметрами среднестатистического КС городища и в сравнении с соответствующими горизонтами фоновых почв по общей схеме: [центр участка с антропогенным нарушением] → [участок (участки) на некотором расстоянии от центра] → [КС Павлинова городища] → [соответствующий КС горизонт зонального разреза].

Ниже приводится краткое описание каждой изученной группы антропогенных включений с указанием специфики их химических свойств в центре нахождения (разброс значений по каждому из показателей приведен на рис. 3.3.5.), а также характеристика процессов миграции продуктов их разложения.

Очаги и зольники. Для поселений раннего железного века характерны очаги диаметром в среднем от 45 до 90 см, (иногда до 130 см), мощностью от 2 до 20 см (Корякова, 1988; Корякова, Сергеев, 1993). На Павлиновом городище почвенные образцы были отобраны из 11 очагов диаметром от 35 до 120 см. Морфологически они легко дифференцируются от почвенной массы и представляют собой сцементированные образования серого и темно-серого цвета; содержат золу, перемешанную с мелкой дробленой костью; в большинстве случаев вскипают от 10 % соляной кислоты.

Образцы, отобранные из центра очагов отличаются от фоновых почв и среднестатистического КС *повышенной щелочностью, высоким содержанием обменных форм натрия и фосфора, а также низким содержанием органического вещества*, которое выгорало в процессе их использования. Так, pH H₂O крупных очагов в среднем имеет значение 7,60 при фоновом 7,01 (т.е. концентрация ионов H⁺ в очагах выше фона в 2,5 раза). Содержание подвижных фосфатов – 280,40 мг/100г почвы (в 28 раз выше фона). Содержание обменных калия и натрия в центре крупных очагов самое высокое среди всех изученных групп “загрязнителей” – 83,50 и 28,00 мг/100г (фон – 2,23 и 1,80 мг/100г, соответственно: в 37 и 16 раз выше фона). Содержание органического углерода наоборот, – самое низкое, и составляет в среднем всего 0,55 %

(фон – 1,03 %). Указанные особенности обуславливают самую высокую специфичность очагов по сравнению с другими изученными участками КС.

Наибольшим отклонением химических свойств от фоновых показателей характеризуется самый крупный очаг, имеющий диаметр около 120 см и находящийся за пределами жилища, в двух-трех метрах от него. Ему соответствует наибольшее содержание P_2O_5 , Na_2O , K_2O и углерода, а также высокая щелочность ($pH\ H_2O = 8,45$) (рис. 3.3.6). Несмотря на это, изучение других очагов позволяет предположить, что изменение химических свойств связано скорее не с размерами очага, а с интенсивностью и (или) продолжительностью его использования.

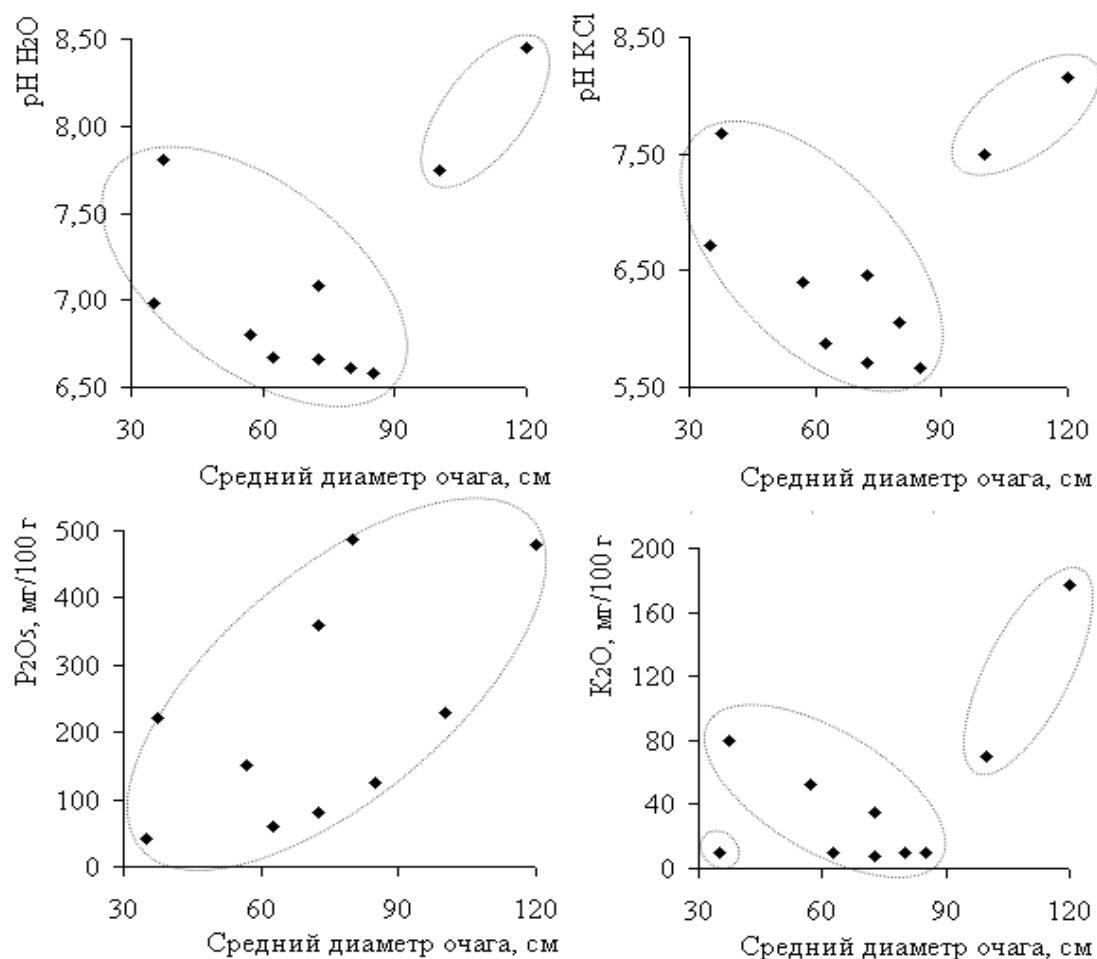


Рис. 3.3.6. Значения некоторых химических показателей для различных по размеру очагов и зольников КС Павлинова городища.

Очаги являются наиболее специфичными из всех групп “загрязнителей” КС в химическом отношении (см. табл. 3.3.3). Поэтому они оказались и наиболее удобными для изучения процессов миграции продуктов разложения антропогенного вещества. Изменение свойств почв в зависимости от горизонтальной удаленности от очага было прослежено в очаге № 2-99. Как уже говорилось, в условиях лесостепной зоны разложение артефактов идет не такими быстрыми темпами, как, например, в таежной зоне. Тем не менее этот процесс наблюдается, а продукты разложения мигрируют в профиле как по горизонтали, так и по вертикали от центра нарушения.

Процессы миграции можно продемонстрировать на примере водорастворимых солей, являющихся обобщающим показателем миграции легкорастворимых элементов (табл. 3.3.4). Содержание водорастворимых солей в целом уменьшается с увеличением расстояния от очага, а также с глубиной. Те же закономерности изменения изучаемых свойств выявлены и для обменных форм элементов: для актуальной и обменной кислотности, обменного калия; в меньшей степени – для подвижного фосфора и обменного натрия. С увеличением расстояния от очага показатели в целом падают (нелинейно – из-за пространственной неоднородности КС) и приближаются к средним значениям КС и фона.

Таблица 3.3.4

Изменение изучаемых параметров в КС по горизонтали от центра очага

Показатель \ Расстояние от центра очага	Центр очага	1,0 м от очага	1,4 м от очага	КС	Фон
pH H ₂ O	8,45	7,88	7,85	7,21	7,01
pH KCl	8,15	7,48	7,50	не опр.	6,50
P ₂ O ₅ , мг/100г	480,0	197,5	360,0	101,37	10,09
K ₂ O, мг/100г	62,50	7,50	10,50	7,87	1,80
Na ₂ O, мг/100г	177,50	87,50	80,00	38,36	2,23
Углерод, %	1,24	1,07	1,25	1,33	1,03
Водорастворимые соли, %	0,140	0,206	0,040	0,025	0,018

Содержание углерода, напротив, увеличивается по направлению от центра очага к КС. Более высокое содержание углерода в центре очага, где должна выгорать большая часть органики, связано, по-видимому, с наличием непрогоревших угольков.

Степень миграции элементов в глубину была исследована также на примере очага № 15-99, расположенного в центре жилища. Все изучаемые показатели максимальны в центре очага и приближаются вглубь к минимальным для КС значениям. Так, в ряду: [центр очага] → [8 см вглубь] → [19 см вглубь] → [25 см вглубь] содержание P_2O_5 уменьшается с 500,0 до 40,0 мг/100г; K_2O – соответственно со 105,0 до 37,5 мг/100г; Na_2O – с 55,0 до 2,5 мг/100г; рН H_2O – с 7,88 до 7,49; рН КСl – с 7,52 до 6,97.

Кости и их скопления. Остеологические материалы аккумулируют в себе как биологическую, так и археологическую информацию разного уровня: об особенностях экономики древнего населения, его диеты, о роли животных в сфере ритуальной деятельности, об использовании костей животных в качестве сырья для изготовления орудий и других предметов и т.п. (Антипина, 1996). Большая часть костей на Павлиновом городище (более 95 %) принадлежит домашним животным: лошадь – 42 %, крупный рогатый скот – 29 %, мелкий рогатый скот – 14 %. Эти данные соотносятся с существующими на сегодня представлениями о скотоводстве у саргатцев – считается, что основными направлениями в этой отрасли является разведение крупного рогатого скота, коневодство, в меньшей степени – овцеводство. Доля диких животных немногочисленна – 3 % (Косинцев и др., 2003; Корякова, 2003).

Образцы, отобранные непосредственно под костными остатками и между ними, характеризуются *высоким содержанием обменных оснований и подвижного фосфора*: среди всех изученных групп загрязнителей именно скопления костей оказались наиболее насыщенными подвижными фосфатами. Колебания в содержании P_2O_5 среди образцов указанной группы состав-

ляют от 256,0 до 445,0 мг/100г почвы. Кислотность и содержание органического углерода составляют примерно те же величины, что и в КС.

На основании полученных данных можно полагать, что обогащение КС обменными основаниями Ca^{2+} и Mg^{2+} происходит главным образом за счет разложения костей животных и зависит как от степени разложения, так и от вида костей. Скопления костей оказались также обогащенными обменным натрием (13,21 мг/100г против 7,87 в КС и 1,80 мг/100г в зональном разрезе).

Почвенные образцы отбирались из скоплений хорошо разложившихся костей, из заполнения костей (т.е. между хорошо сохранившимися костями) и вокруг костей (т.е. на некотором расстоянии от них). В ряду [скопления костных останков] → [вокруг костных остатков] → [заполнение из малоразложившихся костей] увеличивается кислотность, уменьшается содержание подвижного фосфора, обменного калия, суммы обменных оснований (рис. 11); содержание обменного натрия и органического углерода остается почти на одном уровне. Таким образом, хорошо выветрелые кости в большей мере изменяют свое окружение в сравнении с малоразложившимися костями.

Глиняные горшки и их заполнение, развалы горшков, скопления керамики. Керамика, ее типологические признаки, являются основным индикатором принадлежности памятника к той или иной культуре и, следовательно, его датировки. Основу керамической коллекции Павлинова городища составляют саргатский и гороховский типы: 45 и 33 % соответственно (Пантелеева, 2003). В химическом отношении первые отличаются от вторых наличием примеси шамота и отсутствием тальковых сланцев в глиняном тесте (Корякова, 1988; Культура зауральских скотоводов..., 1994). В качестве минерального компонента в саргатской керамике использовался вместо талька песок (Пантелеева, 2006).

В заполнение отдельных горшков характеризуется по сравнению с фоном *повышенной концентрацией ионов H^+* (в среднем в 1,9 раза выше чем в фоне), *высоким содержанием подвижного фосфора* (в 28 раз), *обменного калия* (в 37 раз) и *обменного натрия* (в 16 раз выше фона).

Можно утверждать, что в большей степени изменение свойств почв в развалах глиняных горшков связано с наличием или отсутствием в горшках пищи на момент погребения, от ее характера. Именно по этой причине отмечена высокая вариабельность изучаемых параметров среди изучаемой группы включений. Так, содержание фосфатов в заполнении разных горшков колеблется от 60,00 до 458,72 мг/100г почвы.

Важное значение имеет степень сохранности сосуда (горшка). Так, содержание P_2O_5 в заполнении относительно сохранившегося глиняного горшка 2-01 составляет 458,72 мг/100г почвы (при фоновом 10,09 - 13,31 мг/100г). Это предположительно указывает на то, что в нем содержалась пища животного происхождения.

От характеристик содержимого горшков зависит и связь между расстоянием от горшка и химическими характеристиками КС: она прослеживается только для сосудов, предположительно содержащих на момент погребения пищу. Так, например, горшок № 2-99, судя по высокому содержанию фосфора, также содержал пищу животного происхождения, что позволило проследить горизонтальную миграцию подвижных фосфатов из центра горшка. В ряду: [центр горшка] → [30 см от горшка] → [КС городища] → [фон за пределами городища] содержание P_2O_5 составляет соответственно: 360,0 → 225,0 → 101,37 → 10,37 мг/100г почвы. Содержание обменного калия в том же ряду: 32,5 → 22,5 → 38,36 → 2,23 мг/100г почвы; обменного натрия: 22,50 → 7,50 → 7,87 → 1,80 мг/100г почвы, органического углерода: 1,57 → 1,18 → 1,33 → 1,03 %.

В случае предполагаемого отсутствия пищи на момент погребения практически все изучаемые параметры в этом ряду изменяются ненаправленно и по абсолютным величинам они не выходят за пределы колебаний, характерных для обычной мозаичности КС.

Таким образом, количество фосфора в горшках определяется наличием в них пищи и ее характером: отсюда большие колебания по этому показате-

лю в разных горшках Павлинова городища. В.А. Демкин (1997) предлагает при низком значении данного показателя считать, что в сосуде была вода, при среднем – молоко (кумыс) или мясной бульон, при высоком – каша. Наши данные, основанные на сравнении всей суммы показателей по валовому химическому составу (табл. 3.3.5) с таковыми для основных продуктов питания (Химический состав., 1987), позволяют предположить, что самое высокое содержание подвижных фосфатов в горшке соответствует говяжьему мясу.

Таблица 3.3.5.

**Валовой состав образца из глиняного горшка
в сравнении с фоном, % на абсолютно сухую почву**

Образец	SiO ₂	R ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	MnO	TiO ₂	CaO	MgO
Под горшком	77,12	12,72	2,22	9,73	0,25	0,23	0,52	1,56	1,30
Фон	79,95	10,68	2,01	8,06	0,06	0,08	0,55	0,38	2,45

Столбовые ямки. Столбовые ямки представляют собой небольшие углубления цилиндрической формы в почвообразующей породе, заполненные более темным содержимым; иногда в них морфологически фиксируются древесные волокна. Это следы от врытых вертикальных столбов, служащих опорой для горизонтальных бревен стен жилища (Ковригин, 2003). Необходимо отметить, что в КС выше уровня археологического материкового горизонта столбовых ямок как таковых нет и данной категории в большей мере будет соответствовать название “остатки деревянных конструкций”.

Образцы, отобранные из заполнения столбовых ямок, характеризуются, по сравнению с КС, *повышенными значениями кислотности*. Для них также отмечены: *очень высокое содержание обменного калия* – в среднем 65,0 мг/100г почвы (в 29 раз выше фона), *высокое содержание углерода* (в 3,6 раза). Содержание подвижных фосфатов – в среднем 101,25 мг/100г почвы, что в 10 раз выше фона, но почти в 3 раза меньше, чем в остальных группах антропогенных нарушений).

Степень отличия столбовых ямок от КС – самая низкая, чем у других групп антропогенных включений. Кластерное распределение различных групп антропогенных включений, КС и фоновых по всей сумме изучаемых почвенных признаков показывает сходность заполнений столбовых ямок и среднестатистического КС в химическом отношении.

Степень миграции элементов была рассмотрена и для этой группы нарушений (рис. 3.3.7). Почвенные образцы, отобранные из центра столбовых ямок, оказались менее кислыми, чем на некотором удалении от них. Кроме того, во всех случаях в них обнаружено несколько больше подвижных фосфатов и обменного калия и значительно больше органического углерода (в центре ямок: 0,95 - 1,17 %, в КС на расстоянии от ямок 7 - 20 см: 0,25 - 0,34 %).

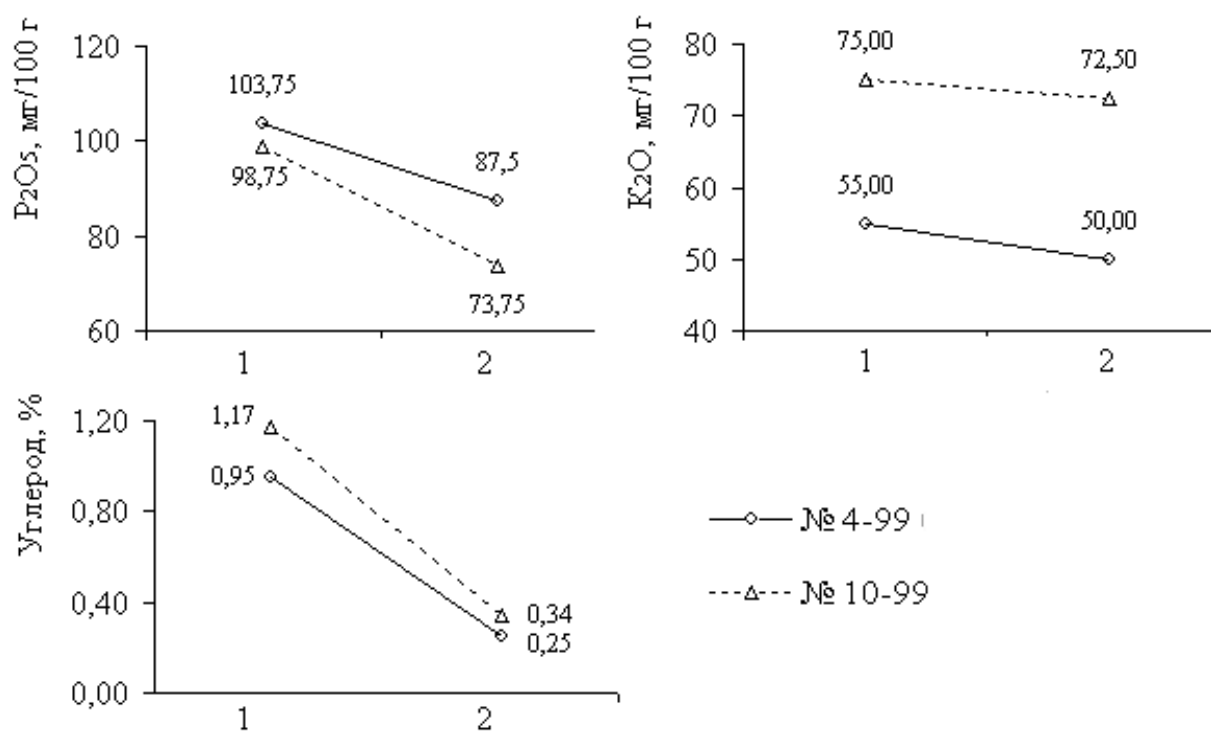


Рис. 3.3.7. Изменение химических показателей в зависимости от удаленности от центра столбовых ямок в КС Павлинова городища, где: 1 - центр ямки; 2 - на некотором расстоянии от ямки (10 - 20 см).

2. Антропогенные нарушения на уровне объекта (нарушения на микроуровне).

Естественно предположить, что в зависимости от функциональных особенностей различных участков внутри поселений степень нарушенности почв будет различной. Для выявления таких участков внутри Павлинова городища нами закладывались почвенные разрезы в различных его в определенных функциональных зонах (территория городища, ямы); жилища (жилая зона, очаг, коридор жилища, пристройки, карман жилища, граница жилища: итоговая схема пола жилища приведена на рис. 3.3.8), на различных расстояниях от него и в различных направлениях.



Рис. 3.3.8. Одно из жилищ Павлинова городища (фото Л.Н. Коряковой)

Сразу необходимо отметить, что во всех разрезах по всем изучаемым признакам наблюдается сложное распределение хода показателей по профилю, не соответствующее зональному. Как и ожидалось, наибольшими изменениями в содержании подвижных элементов характеризуются горизонты, соответствующие КС.

Не останавливаясь на этой части исследований подробно, отметим, что наименее “загрязненным” оказался КС внутри жилища (50,0 - 90,0 мг/100г

P_2O_5 и 45,0 - 57,0 мг/100г K_2O) с небольшим их увеличением вблизи очага – до 187,5 и 72,5 мг/100г соответственно. За пределами жилища эти значения могут увеличиваться в 2,3 - 8,7 раза для подвижных фосфатов и в 1,3 - 2,0 раза для обменного калия.

Наиболее кислыми (близкими к фоновым) оказались почвы КС внутри жилища, за исключением прилегающих к очагу. Наблюдается тенденция к увеличению щелочности по направлению от жилища к периферии городища. Наиболее щелочными оказались образцы из почвенных разрезов, заложенных рядом с костными скоплениями и очагами в горизонтах, соответствующих КС.

Содержание подвижных фосфатов в жилище уменьшается в ряду: [коридор жилища] → [боковые помещения] → [центральное помещение] → [пространство вокруг очага]. Среднее содержание K_2O в жилище несколько меньше, чем вне его. В жилище этот показатель также уменьшается в вышеуказанном ряду. По-видимому, центральная часть жилища и особенно место приготовления пищи содержались в относительной чистоте. Возможно, по периметру жилища содержался скот, о чем свидетельствуют и контуры помещений, напоминающие остатки небольших загонов.

3. Антропогенные нарушения в ландшафте (антропогенные нарушения на мезо- и макроуровне).

В рамках этих исследований изучались нарушения, которые прослеживаются в ландшафте: как на самом городище, так и на удалении от него. Для изучения последствий антропогенных изменений почвенного покрова в ландшафте спустя 2,3 тысячи лет после окончания активного функционирования Павлинова городища закладывалась серия почвенных разрезов в направлении от центра городища к его периферии, и через оборонительные сооружения к фоновым ненарушенным почвам: [территория городища] → [внутренний оборонительный вал] → [оборонительный ров] → [внешний

оборонительный вал] → [посад (группа жилищ за пределами городища)] → [фоновые почвы на расстоянии 0,3 км от городища] → [фоновые почвы на расстоянии 2,5 км от городища].

В профиле антропогенно нарушенных почв по сравнению с фоновыми фиксируются изменения различной степени интенсивности по различным физико-химическим показателям.

АКТУАЛЬНАЯ И ОБМЕННАЯ КИСЛОТНОСТЬ

Значения и профильное распределение актуальной кислотности в нарушенных почвах Павлинова городища не соответствуют зональному. В целом наблюдается уменьшение концентрации $[H^+]$ в несколько раз по сравнению с фоновыми показателями. Особенно это характерно для КС и погребенных горизонтов внутри городища: средняя концентрация $[H^+]$ в почвах КС ниже фоновых в два раза; в погребенных почвах – почти в четыре раза. Почвы насыпи внутреннего вала более щелочные, чем фон, внешнего вала – более кислые. За пределами городища, где антропогенная нагрузка была меньше, кислотность почв близка к фоновым значениям.

ПОДВИЖНЫЕ ФОСФАТЫ И ОБМЕННЫЙ КАЛИЙ

Соединения подвижного фосфора и обменного калия могут считаться маркерными для определения степени антропогенного воздействия. Это было показано ранее другими авторами, а также нами при характеристике антропогенных нарушений в КС различных археологических памятников. Наиболее высокие значения P_2O_5 отмечаются в КС внутри городищ или поселений (для Павлинова городища – от 130,80 до 500,00 мг/100г), на оборонительных валах, которые, по-видимому, укреплялись деревянными конструкциями (до 378,13 мг/100г), во рвах, которые, возможно, использовались как сточные


ямы (до 140,97 мг/100г – на дне рва), в КС жилищ, а также в непосредственной близости от артефактов.

Чем большую антропогенную нагрузку испытывала почва, тем большие фиксируются изменения. Наблюдается четкая зависимость уменьшения содержания P_2O_5 в разрезах в направлении от центра городищ к периферии и дальше за их пределы (табл. 3.3.5).

Почвы в непосредственной близости от поселений и городищ также оказываются несколько обогащены подвижными формами фосфора, что, по-видимому, связано с использованием этой территории под пастбище: некоторые авторы выделяют территорию, активно используемую для охоты и скотоводства, радиусом до 10 км от древних поселений и городищ (Revel, 1991).

Таблица 3.3.5 .

**Изменение максимального содержания подвижных фосфатов
в профиле антропогенно измененных и фоновых почв**

Направление	№ разреза	Место заложения разреза	Содержание P_2O_5 , мг/100г почвы
Центр городища 	8-01	территория городища	$\leq 500,00$
	10-01	внутренний вал	$\leq 378,13$
	24-01	оборонительный ров	$\leq 168,71$
	9-01	внешний вал	$\leq 150,01$
	23-01	выкид из жилища вне городища	$\leq 16,24$
	11-01	фоновый 0,3 км от городища	$\leq 32,23$
	19-01	фоновый 2,5 км от городища	$\leq 13,31$
Зональные почвы	-	зональный чернозем выщелоченный (Бахарева, 1969).	$\leq 4,10$

Эту же закономерность демонстрирует и рисунок 3.3.9, на котором иллюстрируется изменение запасов P_2O_5 в слое 0-100 см на 1 м² в направлении от центра городища к фоновым ненарушенным почвам. В том же направле-

нии отмечена тенденция к уменьшению содержания и запасов K_2O в изучаемых почвах (рис. 3.3.10).

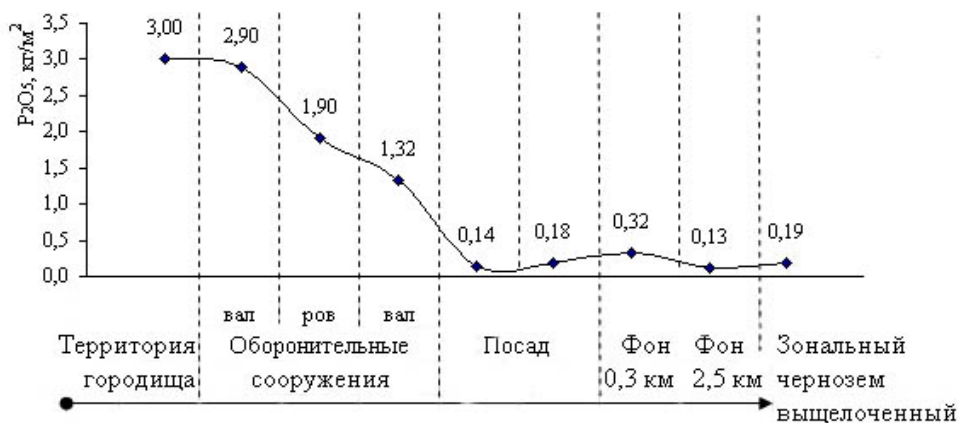


Рис. 3.3.9. Содержание подвижных фосфатов в почвах в зависимости от удаления от центра городища в слое 0-100 см, кг/м².

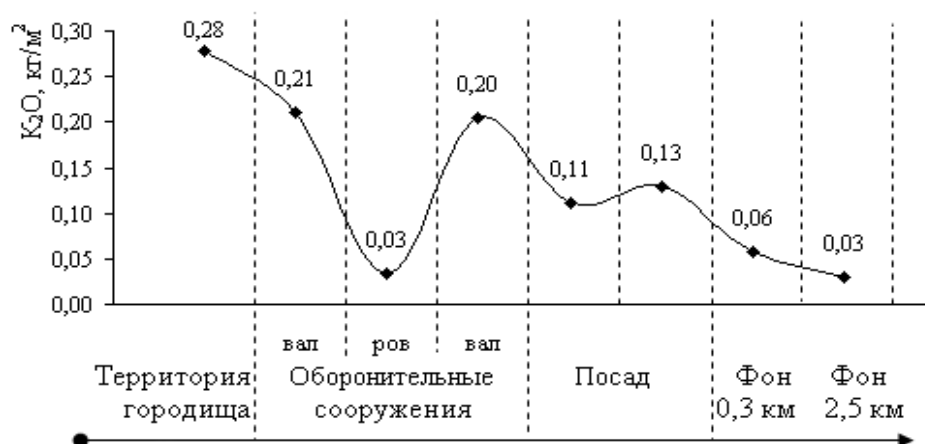


Рис. 3.3.10. Содержание обменного калия в почвах в зависимости от удаленности от центра городища в слое 0-100 см, кг/м².

ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО

Гумусное состояние почв характеризуется общим содержанием гумуса, его профильным распределением, запасами, групповым и фракционным составом гумуса. Нарушенные в результате деятельности древнего человека почвы городища по указанным показателям значительно отличаются от фоновых почв.

ОБЩЕЕ СОДЕРЖАНИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА И ЗАПАСЫ ГУМУСА

Зональные черноземы выщелоченные содержат 3,95 % углерода в гор.А_д; в минеральных гумусовых горизонтах А и В₁ это значение уменьшается до 2,32 % и 2,21 % соответственно и затем падает в нижележащих горизонтах до 1,03 - 0,14 %. Подобное резкое профильное изменение содержания гумуса характерно для черноземов Западной Сибири и связано с климатическими особенностями, главным образом – резкой континентальностью климата и особенностями промерзания и иссушения почв. Запасы гумуса в почвах зонального разреза составляют 105,1; 215,6; 238,9 т/га соответственно в слое 0-20; 0-50; 0-100 см.

При характеристике КС уже были рассмотрены некоторые особенности накопления, пространственного и профильного распределения органического вещества. Как было уже сказано, КС городища отличается несколько большим содержанием углерода по сравнению с соответствующими горизонтами фоновых почв (в среднем 1,33 % углерода против 1,03 % в фоне).

В других минеральных горизонтах почв внутри городища содержание органического углерода во многих случаях также выше такового зональных черноземных почв. Наибольшие значения – до 4,44 % углерода (в среднем 2,61 %, или 109,0 % от фона) обнаруживаются в нижних гумусовых горизонтах дневных почв (гор.А), контактирующих с КС. В большей степени это связано с антропогенной деятельностью и накоплением на территории городища органического материала как почвенного, так и иного происхождения, а также с наличием угольных частиц.

В то же время наблюдается сложное, по сравнению с фоновой почвой, профильное распределение органического вещества (рис. 3.3.11). В верхних горизонтах его содержание обычно не достигает фоновых значений, а приближаясь к КС и глубже – превышает их. На основании данных по распределению углерода в центре жилища можно также предположить, что при строительстве жилища полуземляночного типа были сняты верхние горизон-

ты почвы, включая гумусовый (мощность снятого слоя составляет до 50 - 60 см). Можно также отметить тенденцию к увеличению содержания органического вещества в профиле разрезов по направлению к жилищу и в самом жилище – свидетельство обрушившихся стен и кровли.

На оборонительных сооружениях и выкидах фиксируются погребенные гумусовые горизонты разной мощности, что может быть обусловлено их нарушениями срезкой в период функционирования городища.

В погребенных гумусовых горизонтах среднее содержание углерода в рассматриваемых разрезах составляет 1,48 %, или 65,31 % от фонового для гор.[А]. В гор.[В₁] содержание углерода составляет 0,99 % или 44,91 % от фонового. Принимая, что после погребения в черноземах через 2 тыс. лет содержание гумуса составляет примерно 40 % от исходного (Иванов, 1992), получаем, что зональные черноземы на момент основания городища, с учетом диагенеза, предположительно могли содержать около 3,60 % углерода в гор.А и около 2,50 % в гор.В₁, то есть несколько больше от современного. Суммарная мощность минеральных гумусовых горизонтов могла колебаться в разных разрезах от 10 до 46 см (при мощности фоновых А+В₁ = 29 см). Такие вариации могут быть вызваны несколькими причинами: а) срезкой части гумусового горизонта перед погребением; б) аккумуляцией материала антропогенного происхождения на дневной поверхности почв; в) изменением климатических условий почвообразования.

Запасы гумуса в погребенных горизонтах составляют: в слое 0-20 см; 0-50 см; 0-100 см от средних значений фона соответственно: 66,4; 64,1 и 67,5

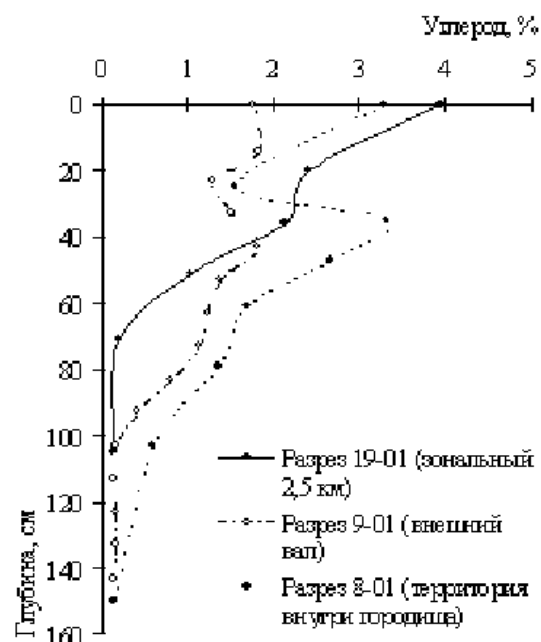


Рис. 3.3.11. Распределение органического углерода по профилю некоторых разрезов Павлинова

%, что с учетом диагенеза могло составлять 166,0; 160,3 и 168,7 % от фоновых показателей. Эти значения, возможно, несколько завышены в связи с неполным выходом верхних погребенных горизонтов из биологического круговорота ввиду малой мощности насыпных горизонтов (от 28 до 61 см), что способствует вовлечению их в современный почвообразовательный процесс.

ГРУППОВОЙ СОСТАВ ГУМУСА

Групповой состав гумуса в узком смысле характеризуют две основные группы его компонентов: гуминовые кислоты (ГК) и фульвокислоты (ФК). Соотношение между двумя этими группами ГВ является надежным диагностическим и классификационным признаком современных, погребенных и ископаемых почв, поскольку оно не является функцией времени их существования, а отражает природные условия формирования почвенного покрова (Дергачева, 1997).

В зональном разрезе 19-01 в составе гумуса наблюдается преобладание гуминовых кислот над фульвокислотами (соотношение СГК/СФК = 1,73 и 1,30 в горизонтах А и В₁ соответственно), что характерно для черноземных почв.

Показатели качественного состояния гумуса нарушенных почв города значительно отличаются от фоновых и во многом определяются характером и интенсивностью хозяйственной деятельности человека.

Анализ полученных результатов показал, что с увеличением антропогенной нагрузки на почвы наблюдается увеличение соотношения СГК/СФК (рис. 3.3.12). Наибольшее отношение СГК/СФК отмечено для гумуса КС – от 2,60 до 4,57. Такие высокие значения не характерны для естественных зональных почв и мы их связываем с высокой долей антропогенного вещества в КС, в частности с присутствием в нем угольных частиц. В составе гумуса насыпи внутреннего и внешнего вала (разрезы 9-01 и 10-01) по тем же причинам значительно преобладают ГК над ФК. Именно эти горизонты характеризуются наибольшей пестротой в морфологическом плане, а также высоким содержанием обменных форм элементов.

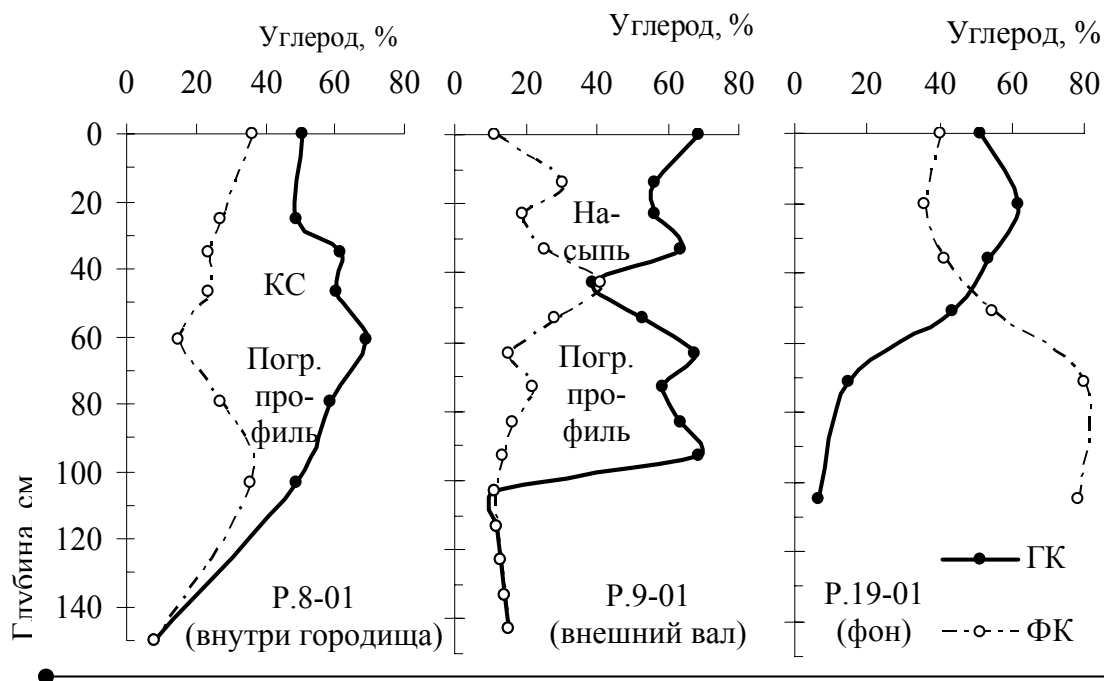


Рис. 3.3.12. Распределение фракций ГК и ФК по профилю некоторых разрезов от центра Павлинова городища за его пределы.

Погребенные горизонты внутри городища также имеют высокие соотношения СГК/СФК, но отмеченные только на границе с КС. Среднее соотношение СГК/СФК погребенных почв в гор.[А] = 2,64 (фоновый показатель – 1,52), в гор.[В₁] = 1,82 (фон – 1,30). В то же время значение этого показателя в погребенных почвах сильно варьирует (от 1,37 до 4,46) и находится в прямой зависимости от следующих факторов:

- а) от запасов гумуса в погребенных почвах (т.е. от мощности сохранившихся погребенных горизонтов и от содержания в них углерода);
- б) от близости КС и от степени антропогенной нагрузки на него.

В настоящее время вполне однозначно можно считать, что “показатели соотношения основных компонентов гумуса (ГК и ФК) могут использоваться при характеристике былых эпох гумусообразования и почвообразования” (цит. по Дергачевой, 1997, С.71). Погребенные же почвы Павлинова городища достаточно сильно были изначально повреждены и в настоящее время находятся в значительной степени под влиянием современных процессов поч-

вообразования, что не позволяет сделать прямых палеореконструкций климата по групповому составу гумуса. Тем не менее можно утверждать, что погребенные почвы Павлинова городища формировались в климатических условиях, характеризующих тот же черноземный тип почвообразования, что и на современном этапе.

ФРАКЦИОННЫЙ СОСТАВ ГУМУСА

“Типовой молекулой” гумуса (по Дергачевой, 1984) почв фонового разреза 19-01 в верхних гумусовых горизонтах А и В₁ является фракция ГК-1. В нижних горизонтах это соотношение меняется (в гор.В₂ – 2,91 %, 27,19 % и 13,59 % соответственно), что связано с накоплением карбонатов вниз по профилю. Фульвокислоты 2-й фракции (ФК-2) преобладают во всех горизонтах над ФК-1 и ФК-3. При этом содержание ГК уменьшается вниз по профилю, а содержание ФК – увеличивается.

В отличие от фоновых, в нарушенных почвах городища типовой молекулой является фракция ГК-2. Особенно это относится к КС (38,15 - 50,17 % от общего углерода) – в 2,7 - 3,5 раза выше, чем в фоне. Такие показатели можно связать с обогащением территории городища кальцием, освобождающимся главным образом при разрушении костного материала. При этом для КС отмечено минимальные значения относительного содержания ФК-2 (1,66 %) и ФК-3 (0,52 %).

Высокой долей ГК-2 во фракционном составе гумуса характеризуются и насыпи валов. Это связано как с нагрузкой антропогенным веществом, так и с их происхождением. Наибольшие значения характерны для нижней части внутреннего вала (45,16 % на глубине 22-54 см): это говорит в пользу того, что нижняя часть насыпи сооружалась из почвенной массы, обогащенной кальцием и взятой на значительной глубине из рва.

Верхняя, гумусированная почвенная масса из рва выбрасывалась сначала на внешний вал, что отражается в относительно невысокой доле ГК-2 в гумусе нижней части его насыпи (19,31 - 33,34 %) по сравнению с верхней (28,42 - 43,86

%), а также в низком соотношении СГК/СФК (0,95 - 1,86 в нижней части; 2,52 - 2,91 – в верхней части насыпи внешнего вала).

ГК второй фракции являются типовой молекулой и для погребенных горизонтов, где их содержание в 1,7 - 3,6 раза выше, чем в фоне (рис. 3.3.13). Среднее содержание ГК-2 в гор.[А] выше фонового в 3,47 раза, в гор.[В₁] – в 2,24 раза. Для этой фракции гуминовых кислот наблюдаются те же зависимости от мощности сохранившихся погребенных горизонтов и содержания в них гумуса, мощности насыпного грунта и степени антропогенной нагрузки, что и для значений соотношения СГК/СФК (см. выше).

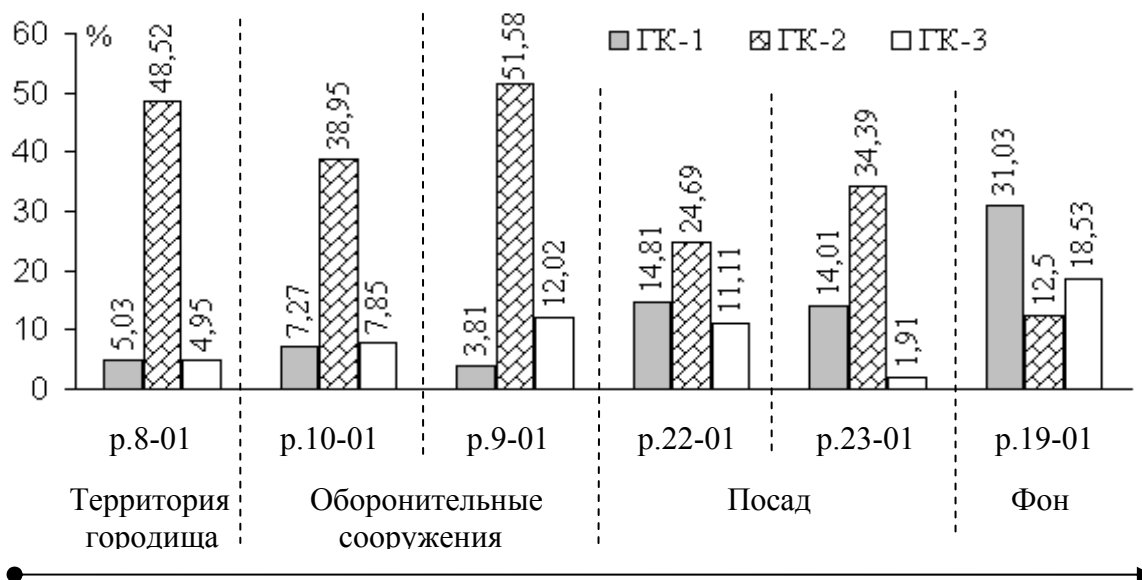


Рис. 3.3.13. Процентное содержание разных фракций ГК во фракционном составе гумуса погребенных почв в сравнении с фоновыми показателями в направлении от центра Павлинова городища за его пределы.

Отличительной чертой профиля рва является преобладание в фракционном составе ГК-1, доля ГК-2 увеличивается с глубиной, достигая в нижних горизонтах фоновых значений. Увеличение ГК-2 в нижних горизонтах связано, вероятно, со сползанием почвенной массы, обогащенной кальцием, с вала в ров в постфункциональный период городища, а также с накоп-

лением во рву остатков деятельности человека (что подтверждает морфологическое описание разреза и его химическая характеристика).

Погребенные почвы относительно “чистого” разреза 22-01 (см. рис. 18), находящегося за пределами городища, характеризуются наиболее близким к фоновым почвам по фракционному составу гумуса.

ОПТИЧЕСКИЕ ПЛОТНОСТИ ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ

Оптические плотности ГК характеризуются электронными спектрами поглощения составляющих их макромолекул в диапазоне длин волн от 400 до 750 нм при концентрации углерода равной 1 мг/мл. Оптические плотности зависят от степени конденсированности макромолекул ГК: наибольшая оптическая плотность характерна для ГК, имеющих наибольшую ароматическую часть, более развитую цепь сопряженных двойных связей и наибольшую степень окисленности (Орлов, 1992). Считается, что более зрелые ГК имеют большую оптическую плотность по сравнению с более молодыми (там же).

Наиболее оптически плотными в фоновых ненарушенных почвах (р.19-01), а, следовательно, – и наиболее зрелыми, оказались ГК второй и третьей фракции (18,38 - 36,06 в минеральных горизонтах при длине волны 440 нм), наименее – ГК-1 (3,42 - 4,67).

Гуминовые кислоты нарушенных почв Павлинова городища отличаются по интенсивности светопоглощения от ГК фоновых почв. Наиболее высокими значениями оптических плотностей ГК выделяются горизонты КС в наиболее измененных участках. Высокая интенсивность светопоглощения ГК отмечена также и для насыпей валов, для заполнения рва, для погребенных почв (рис. 3.3.14). В наибольшей степени это касается ГК первой фракции, абсолютные величины светопоглощения которых могут в разы превышать фоновые. Выявленные закономерности, по-видимому, объясняются высокой обуглероженностью антропогенно нарушенных почв за счет угольных час-

тиц, отличающихся большей долей циклических структур, которые как раз и обуславливают высокие оптические плотности ГК.

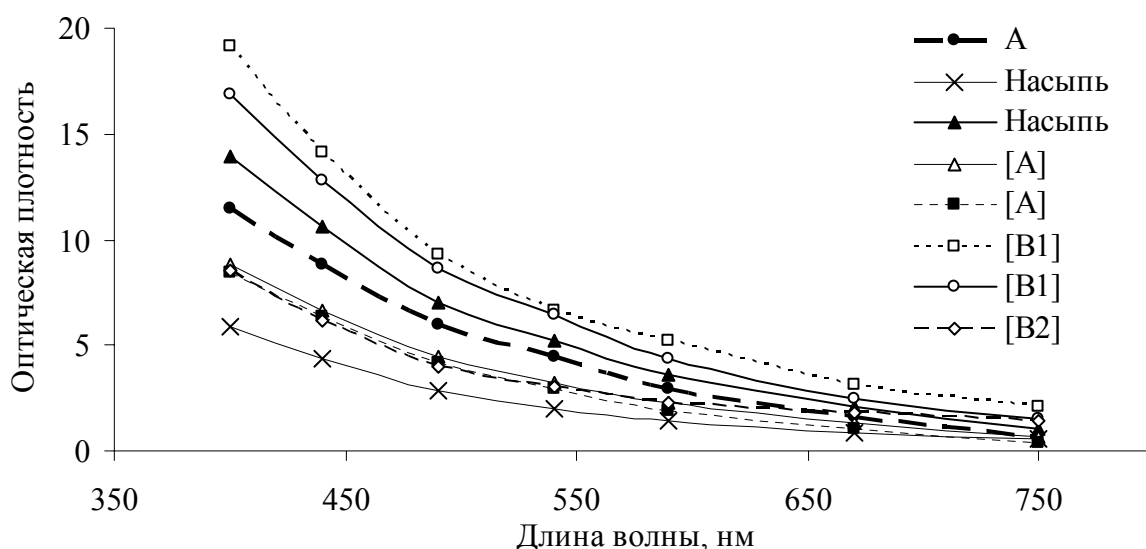


Рис. 3.3.14. Оптические плотности ГК-1 разреза 9-01 (внешний вал).

Гуминовые кислоты в гумусовых горизонтах погребенных почв в большинстве случаев имеют меньшие значения оптических плотностей в сравнении с ненарушенными фоновыми почвами. При этом для оптических плотностей всех фракций ГК прослеживается тенденция к их снижению по мере уменьшения степени нарушения почвенного профиля в месте заложения разреза. Наименьшими значениями оптических плотностей характеризуются наименее нарушенные почвы за пределами городища.

В целях сравнительного сопоставления электронных спектров рекомендуется вычислять коэффициент цветности, численно равный отношению оптической плотности раствора при двух длинах волн (Орлов, 1992) и количественно характеризующий “кривизну” кривой светопоглощения. При этом наибольшей “кривизне” кривой, характерных для ГК, образованных в гумидных условиях, будут соответствовать наибольшие значения данного показателя (Дергачева, 1997). Нами вычислены коэффициенты цветности при длинах волн 465 и 670 нм ($E_{465/670}$).

Можно отметить, что коэффициенты цветности погребенных почв в целом меньше фоновых показателей или близки к ним. Приближение к фоновым показателям происходит по мере уменьшения антропогенного воздействия. Особенности величины $E_{465/670}$ гумуса погребенных почв могут косвенно указывать на несколько более сухие и теплые условия на момент формирования гумусовых макромолекул погребенных почв в сравнении с современными фоновыми.

Подводя итог характеристике антропогенно нарушенных почв в местах длительного проживания древнего человека, можно сказать о том, что они достаточно сильно отличаются от фоновых ненарушенных почв, прежде всего – в морфологическом отношении. В первую очередь это вызвано наличием КС мощностью от 14 до 58 см, сочетающего в себе черты генетического профиля и следы антропогенного вмешательства. Деятельность человека проявляется в срезке и смешивании естественных генетических горизонтов почв, формировании искусственных насыпей, приносе инородного минерального и органического материала.

За время, истекшее с момента нарушений, таким образом измененные почвы вновь подвергаются естественным процессам педогенеза под влиянием факторов почвообразования, что приводит к формированию сложных в морфологическом отношении почв, вмещающих в себя два или более профиля, включающих погребенные и новообразованные горизонты и в той или иной степени выраженного КС.

В соответствии с новой классификацией почв (Классификация почв России, 2004; Урусевская, Матинян, 2005; Лебедева и др., 2005) их можно отнести к *урбо-стратифицированным турбоземам*. За время, истекшее с момента нарушений, таким образом измененные почвы вновь подвергаются

естественным процессам педогенеза под влиянием природных факторов почвообразования, что позволяет рассматривать их как *реградированные*.

Деятельность древнего человека в местах его проживания приводит и к значительным изменениям почв в химическом отношении. В профиле антропогенно нарушенных почв по сравнению с фоновыми фиксируются изменения различной степени интенсивности по изученным физико-химическим показателям. Наибольшие изменения наблюдаются в КС городища, даже в тех горизонтах, где морфологических изменений не выявлено. Превышения над фоновыми химическими показателями фиксируются и на достаточном удалении от городища.

Тем самым подтверждено, что химические методы в изучении нарушенных почв являются более чувствительными для определения последствий (мониторинга) человеческой деятельности.

Следы такой деятельности могут наблюдаться не только непосредственно на объектах (археологических памятниках), но и изменять параметры зональных почв ландшафта в непосредственной от них близости.

В условиях лесостепной зоны при непромывном или периодически промывном типе водного режима на суглинистых почвообразующих породах прослеживаются процессы минерализации продуктов разложения веществных остатков деятельности древнего человека и последующей их миграции в КС. В процессе разложения антропогенные включения обогащают почву в месте их захоронения *легкорастворимыми солями, подвижными фосфатами, обменными формами калия и натрия, обменными Ca^{2+} и Mg^{2+} , углеродом*. Кроме того, в таких местах почвы значительно *подщелачиваются*. Элементы могут мигрировать в почвенном профиле на определенные рас-

стояния как в горизонтальном, так и вертикальном направлениях. В конечном итоге, после полного разрушения и минерализации, фиксировать их наличие и местонахождение можно будет только аналитическими методами.

Следовательно, в КС древних поселений и за их пределами, как, впрочем, и в случае современных нарушений, можно выделить следующие группы антропогенных нарушений по степени их дифференциации от вмещающей почвенно-грунтовой массы:

- а) фиксируемые в почвах морфологически и аналитически;
- б) фиксируемые в почвах только аналитически (морфологически недифференцируемые участки).

Гумусное состояние антропогенно нарушенных почв Павлинова городища имеет свои особенности. Так, содержание органического углерода в КС и примыкающих к нему горизонтах выше фонового, имеются также различия и в профильном распределении гумуса. Отношение СГК/СФК в гумусе КС, насыпей валов и заполнения рва могут в разы превышать фоновые показатели. Для этих почв характерно значительное превышение доли ГК-2 в сравнении с фоном, а также высокие показатели оптических плотностей ГК.

Все указанные особенности антропогенно-измененных почв напрямую зависят от степени их нарушенности и определяются как длительностью, так и интенсивностью хозяйственной деятельности человека на каждом конкретном участке.

4. Формирование новообразованного почвенного покрова на КС.

Итак, в местах длительного проживания человека восстановление почв происходит не просто на исходных почвообразующих породах, как в случае с прикурганными территориями, а на особых субстратах, представляющих собой КС разной степени выраженности. В связи с этим представляет большой интерес, в том числе практический, сравнительное изучение скорости и направления восстановления почв на чистых почвообразующих породах с таким на такого рода "загрязненных" субстратах.

За одно и то же время, истекшее с момента нарушения, при всех прочих равных условиях: одном типе климата, на одних и тех же почвообразующих породах, на сходном рельефе и под одной растительностью характер и степень антропогенных нарушений будет единственным фактором, определяющим скорость и направление почвообразования. В связи с этим была проведена сравнительная характеристика хода процессов почвообразования у новообразованных 2,3 - 2,5-тысячелетних почв, формирующихся на почвообразующих породах разной степени нарушенности при прочих неизменных условиях. При этом сравнивались новообразованные почвы, сформированные на относительно “чистых” выбросах почвообразующей породы с почвами, формирование которых шло на антропогенно измененных почвообразующих породах - на КС в местах длительного проживания человека (на примере Павлинова городища);

И уже далее полученные данные сравнивались с "эродированным" вариантом – почвообразованием на усеченном профиле при срезанных верхних почвенных горизонтах и с сохранившейся неизменной нижней частью профиля в местах однократных нарушений при строительстве крупных курганов.

Сравнительная характеристика новообразованных почв в местах длительного проживания человека (Павлиново городище).

Для характеристики новообразованных почв имелась возможность их изучения как на территории внутри городища, где их формирование шло фактически на КС (то есть на загрязненном антропогенным веществом субстрате), так и на выкидах относительно “чистой” почвообразующей породы, выброшенной на внешнюю сторону от оборонительных сооружений.

В качестве наиболее “загрязненного” нами был выбран разрез, заложенный на внутреннем оборонительном валу (р.10-01). Насыпь внутреннего вала, которая послужила почвообразующей породой для формирования новообразованных почв, была изначально в значительной степени механически

перемешана, в ней фиксировались горизонты и прослойки разного генезиса, а также многочисленные антропогенные включения; химически насыпь вала была также сильно изменена. По совокупности морфологических и химических признаков насыпь внутреннего вала можно отнести к КС.

Наиболее “чистым” в морфологическом и химическом отношении оказался разрез 22-01, изначально представляющей собой непрогумусированный выброс почвообразующей породы из рва на внешнюю сторону от второго вала, где антропогенное давление было незначительным.

Таким образом, для сравнительной характеристики мы приводим данные для двух наиболее крайних по степени нарушенности разрезов 10-01 и 22-01. Фактический же материал и полученные выводы базируются на данных по всем восемнадцати разрезам, заложенным внутри и вблизи городища и занимающих по степени нарушенности промежуточное положение. Полученные данные по указанным двум разрезам сравнивались с фоновыми почвами (р.19-01). Сравнительная морфологическая и химическая характеристика почв разрезов приведена в таблице 3.3.6.

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ НОВООБРАЗОВАННЫХ ПОЧВ

В течение изучаемого промежутка времени на обнажениях “чистых” почвообразующих пород и на КС сформировались генетические горизонты, по набору и свойствам близкие к фоновым, но в то же время имеющие специфические черты в связи с их относительной молодостью.

Новосформированные минеральные гумусовые горизонты дневных почв (обозначаемые как гор.А), в отличие от фоновых, еще не дифференцируются на горизонты А и В₁, достаточно хорошо морфологически распознаваемые в зональных ненарушенных черноземных почвах.

Таблица 3.3.6.

**Сравнительная характеристика новообразованных почв,
сформировавшихся на "чистых" и "загрязненных"
почвообразующих породах Павлинова городища (для гор.А)**

Разрез, №	22-01	10-01	19-01
Характеристика разреза Показатель	Наиболее "чистый" разрез городища	Наиболее "загрязненный" разрез городища	Фоновый разрез (среднее для гор.А и В1)
Морфологические показатели			
Мощность гор.А, см	13	16	29
Дифференциация на гор.А и В ₁	нет	нет	есть
Наличие горизонта затеков В ₂	нет	нет	есть
Агрохимические показатели			
pH H ₂ O	6,00	6,95	6,64
P ₂ O ₅ , мг/100г	6,82	378,13	13,03
K ₂ O, мг/100г	4,15	13,58	3,16
Валовой состав почв, % на абсолютно сухую почву			
SiO ₂	76,46	76,45	74,85
R ₂ O ₃	11,41	11,63	13,19
Fe ₂ O ₃	2,29	2,88	3,29
P ₂ O ₅	0,09	0,17	0,11
CaO	0,39	1,13	2,05
Показатели, характеризующие органическое вещество			
Содержание углерода, %	1,70	1,82	2,27
Отношение C _{ГК} /C _{ФК}	1,39	3,75	1,52
Содержание ГК-2, %	16,47	37,25	14,40
Запасы гумуса, т/га (слой 0-20 см)	67,0	75,8	105,1
Оптические плотности ГК при длине волны 440 нм, 1 мг/мл С			
ГК-1	6,85	10,55	4,58
ГК-2	17,69	25,62	30,30
ГК-3	6,01	15,05	16,03
Коэффициенты цветности E_{465/670}, 1 мг/мл С			
ГК-1	4,83	4,63	6,20
ГК-2	2,89	3,29	3,08
ГК-3	4,60	3,16	3,33

На рис. 3.3.15 приведены схематические изображения разной степени нарушенных и фоновых почв Павлинова городища. За 2,3 тыс. лет почвообразующая порода на новообразованных минеральных гумусовых горизонтах наиболее “чистого” разреза прокрасилась гумусом на 13 см, что составляет менее половины от фона (44,8 %). Средняя скорость образования гумусовых горизонтов, следовательно, составляет 0,57 см за столетие. Мощность гор.А в наиболее “загрязненных” почвах оказалась выше, чем при условии “чистого почвообразования” – 16 см (0,70 см за столетие).

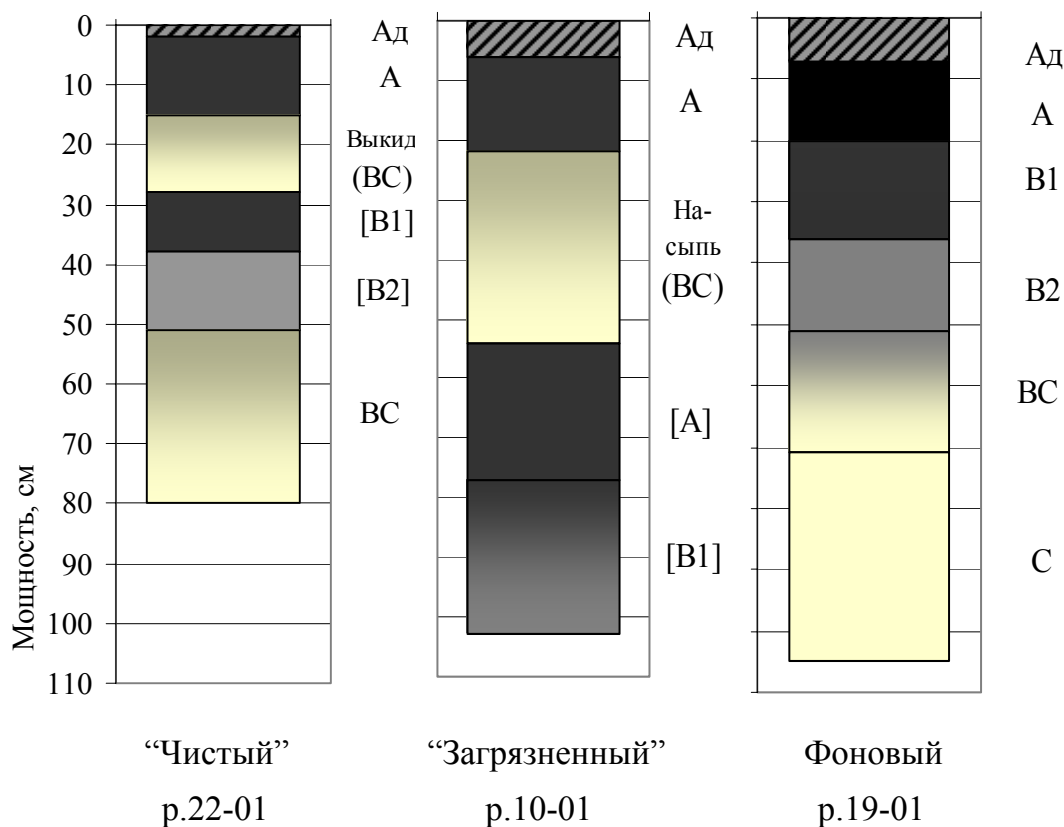


Рис. 3.3.15. Схематическое изображение антропогенно нарушенных и фоновых почв Павлинова городища.

В отличие от фоновых, в новообразованных почвах во всех случаях еще не дифференцируется горизонт затеков B_2 . В некоторых разрезах фикс-

сируются неярко выраженные гумусовые затеки небольшой мощности, часто отмеченные как пестрые гумусированные пятна. Ниже чаще всего залегает погребенная почва той или иной степени сохранности или КС разной мощности. Трудность в распознавании горизонта затеков заключается, кроме того, в достаточно сильной пестроте и наличии многочисленных включений в заполнениях и выкидах породы.

Отметим, что новообразованные почвы, формирующиеся на обнажениях почвообразующих пород 2,3-тысячелетней давности, не достигли за указанное время состояния фоновых ненарушенных почв по морфологическим показателям. Как и в случае с прикурганными почвами, для них характерны меньшая мощность гумусовых горизонтов и слабая дифференциация на горизонты.

При этом средняя скорость гумусообразования на "загрязненных" антропогенным веществом почвах оказалась несколько выше, чем в случае восстановления почв на чистых исходных почвообразующих породах.

ХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ НОВООБРАЗОВАННЫХ ПОЧВ

Как и в предыдущем разделе, рассмотрим аспекты восстановления важнейших химических показателей, отвечающих за плодородие почв: кислотность, содержание в них доступных растениям соединений фосфора и калия, содержание органического гумуса, его качественный состав, а также валовой химический состав почв.

АКТУАЛЬНАЯ КИСЛОТНОСТЬ

Величина актуальной кислотности ($pH\ H_2O$) по профилю зональной почвы изменяется от 6,40 в верхних горизонтах до 7,18 к почвообразующей

породе, характеризуясь по профилю плавным ее изменением от слабокислой до нейтральной.

Величина pH H₂O в дернине нарушенных почв Павлинова городища колеблется от 6,15 до 6,76 (в среднем – 6,47), что близко к фоновому показателю (6,40). Сравнительно быстрое восстановление в дернине значений кислотности, как и других показателей, отмечается на всех изученных нами археологических памятниках.

В случае же минеральных горизонтов, *в новообразованных почвах наблюдается подщелачивание почв* внутри городища и на внутреннем валу. Данный факт связан с химическими особенностями КС, на котором идут современные процессы почвообразования – как уже указывалось в предыдущем разделе, КС древних поселений ввиду накопления антропогенного вещества отличается высокими значениями pH. Так, новообразованные почвы гор.А, формирующегося на КС наиболее “загрязненных” почв, характеризуются и наиболее щелочной реакцией (pH 6,95). В то же время, наблюдается подкисление почв в направлении за пределы городища, т.е. – с уменьшением степени антропогенной нагрузки. Так, гор.А наиболее “чистого” разреза 22-01 отличается самой кислой реакцией (pH 6,00).

Новообразованные почвы, формирующиеся на “загрязненных” антропогенным веществом почвообразующих породах, даже спустя 2,3 тысячи лет отличаются от фоновых голоценовых почв более высокими значениями pH.

ПОДВИЖНЫЕ ФОРМЫ ФОСФОРА

Фоновый разрез 19-01 в профильном отношении характеризуется типичным для черноземов выщелоченных слабовыраженным регрессивно-аккумулятивным распределением подвижных фосфатов – от 13,31 до 8,21 мг/100г почвы в минеральных горизонтах (средняя и повышенная обеспеченность). Наибольшие количества подвижных форм этого элемента аккумули-

руются в дерновом горизонте – 133,09 мг/100г. По литературным данным (Бахарева, 1959; Бахарева, Терпугов, 1969) зональные черноземы выщелоченные в Шадринском районе Курганской области содержат еще меньшие количества этих элементов: от 2,7 до 4,1 мг/100г в минеральных горизонтах.

Новообразованные гумусовые горизонты антропогенно нарушенных почв очень сильно отличаются от фоновых по данному показателю (см. табл. 3.3.6). Интервал колебаний содержания P_2O_5 в гор.А новообразованных почв городища – от 18,80 до 130,80 мг/100г почвы. Максимальное количество подвижных фосфатов наблюдается на внутреннем валу, являющимся наиболее “загрязненным”, составляя 371,93 мг/100г в гор.А_д (больше фонового в 2,8 раза) и 378,13 мг/100г в гор.А (больше фонового в 28,4 раза). Было уже неоднократно сказано (см. раздел 4.1), что фосфор относится к числу антропофильных элементов, его содержание в почвах в значительной мере определяется характером и интенсивностью человеческой деятельности. Все закономерности, выявленные для КС и погребенных почв городища, в равной мере свойственны и для формирующихся на нем новообразованных дневных почв.

Почвы наиболее “чистого” разреза (р.22-01), наоборот, содержат в дернине в 3,3 раза меньше, а в гор.А – почти в 2 раза меньше подвижных фосфатов, чем в соответствующих горизонтах фонового разреза.

За 2,3 тысячи лет, прошедших с начального момента почвообразования, содержание в новообразованных почвах подвижного фосфора биогенного происхождения при минимуме антропогенного загрязнения не достигает фоновых показателей, а при максимуме – превышает их.

ОБМЕННЫЕ ФОРМЫ КАЛИЯ

Зональные черноземы выщелоченные характеризуются низкой обеспеченностью минеральных горизонтов обменными формами калия. По профи-

лю наблюдается слабовыраженное регрессивно-аккумулятивное распределение K_2O (1,92 - 3,57 мг/100г почвы), большая часть доступных растениям форм этого элемента накапливается в дернине (до 32,88 мг/100г).

В новообразованных гумусовых минеральных горизонтах Павлинова городища среднее содержание K_2O составляет 8,84 мг/100г, что в 2,5 раза выше фонового, а в наиболее “загрязненном” разрезе достигает наибольших величин – 13,58 мг/100г, что в 3,8 раза выше фонового.

Минимальные количества K_2O отмечены в наиболее “чистом” разрезе, где содержание обменного калия в гор.А близко к фоновому (соответственно 4,15 и 3,57 мг/100г).

Также как и фосфор, калий в известной мере является антропофильным элементом. Поэтому даже в новообразованных горизонтах прослеживается тенденция к увеличению содержания обменного калия в зависимости от степени антропогенной нагрузки, ранее отмеченная для КС и погребенных горизонтов.

ВАЛОВОЙ СОСТАВ ПОЧВ

Черноземы выщелоченные характеризуются нерезкой дифференциацией почвенного профиля на генетические горизонты по показателям валового состава. Исключением является лишь валовой кальций, который в значительных количествах может выщелачиваться из профиля и накапливаться в нижней его части в форме $CaCO_3$. Кроме того, в верхних горизонтах может происходить аккумуляция валового фосфора и железа биогенного происхождения.

Как видно из таблицы 3.3.6, новообразованные почвы, сформированные на относительно “чистых” почвообразующих породах Павлинова городища, отличаются значительно меньшим содержанием этих трех элементов

по сравнению с фоном: CaO – в 5,2 раза, P₂O₅ – в 1,2 раза, Fe₂O₃ – в 1,4 раза меньше, чем в фоне.

Почвы же, сформированные на “загрязненных” почвообразующих породах, приближаются по этим показателям к фоновым, а по содержанию валового фосфора, являющегося антропофильным элементом, даже превосходят его в 1,5 раза.

Для количественной оценки степени дифференциации почвенного профиля по валовому составу используется коэффициент дифференциации (Кд), характеризующий степень накопления (вымывания) элемента в гумусовом горизонте к почвообразующей породе. В почвах лесостепи в силу слабой внутрипрофильной дифференциации по валовому составу большинство значений Кд близко к единице. Наибольшие коэффициенты в фоновых почвах характерны для биогенных элементов, накапливающихся в верхних горизонтах: для фосфора (Кд = 3,67), железа (Кд = 2,07) и кальция (Кд = 1,72). Эти значения нами далее сравнивались с соответствующими Кд для новообразованных почв, где они вычислялись аналогичным образом (табл. 3.3.7).

Таблица 3.3.7.

**Коэффициенты дифференциации новообразованных почв
Павлинова городища по валовому составу**

Разрез		Коэффициент дифференциации, Кд		
№	Характеристика	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	CaO
22-01	“Чистый”	1,29	1,11	1,05
10-01	“Загрязненный”	3,40	1,19	1,33
19-01	Фоновый	3,67	2,07	1,72

Новообразованные почвы на участках, “загрязненных” антропогенным веществом, быстрее приближаются к фоновым показателям по валовому химическому составу, чем почвы,

формирующиеся на исходных (“чистых”) почвообразующих породах.

ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО НОВООБРАЗОВАННЫХ ПОЧВ

Как уже говорилось ранее, показатели состояния органического вещества почв являются ведущими при оценке почвенного плодородия. Поэтому представляется важным знать – как загрязнение антропогенным веществом скажется на скорость восстановления гумусного состояния почв, на его количественных и качественных характеристиках. Также интересно определить, в каком случае восстановление основных характеристик гумуса происходит быстрее – при почвообразовании на выбросах “чистых” почвообразующих пород или на остатках неизмененного почвенного профиля при срезке верхних гумусовых горизонтов.

Важнейшими показателями, характеризующими новообразованные почвы и их степень приближения к зональным ненарушенным почвам, являются содержание, профильное распределение, запасы и качественный состав гумуса. Именно эти характеристики органического вещества исследуемых почв будут определяющими при оценке направления и скорости почвообразования на антропогенно нарушенных территориях.

СОДЕРЖАНИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА, ЗАПАСЫ ГУМУСА

Накопление большого количества гумуса - отличительная черта черноземных почв, которая обусловлена особенностями биологического круговорота при преимущественном воздействии дернового процесса. Наряду с высокими запасами гумуса для этих почв характерно плавное уменьшение содержания углерода органических веществ по профилю, что связано с преимущественным внутрипрофильным его поступлением в почву с отмершими органами растений. На долю корневых остатков в степной и лугово-степной

растительности приходит до 70 - 80 % всей массы опада органического вещества (Гаркуша, Яцук, 1975). Черноземные почвы Западной Сибири в силу особенностей климата: суровой зимы и засушливого лета, характеризуются более крутым и ступенчатым убыванием органического углерода с глубиной. По данным А.Ф. Бахаревой, выщелоченные черноземы Курганской области содержат в среднем 3,88 % углерода в гор.А, что в гор.В₁ составляет уже 2,78 % (Бахарева, Терпугов, 1969).

Фоновый разрез, заложенный в районе Павлинова городища, по показателям органического вещества близок к зональным почвам Курганской области. Так, в гор.А_д содержится 3,95 % углерода; в минеральных гумусовых горизонтах А и В₁ это значение уменьшается до 2,32 % и 2,21 % соответственно, падая затем в нижележащих горизонтах до 1,03 – 0,14 %. Запасы гумуса в фоновых почвах составляют 105,1 т/га в слое 0-20 см, 215,6 т/га в слое 0-50 см и 238,9 т/га в слое 0-100 см.

Среднее содержание углерода в дернине новообразованных дневных почв Павлинова городища близко к фоновому.

Среднее содержание углерода в новообразованном гор.А – 1,78 %, или 78,50 % от средних показателей фоновых гор.А и В₁. Наиболее высокими темпами накопление гумуса происходит на почвообразующих породах, изначально наиболее “загрязненных” в результате деятельности человека. Так, в наиболее насыщенных антропогенным веществом почвах содержание углерода в новообразованном гумусовом горизонте составляет 1,82 % или 80,18 % от фона, средняя скорость гумусообразования составляет 0,79 % за тысячелетие. В наиболее “чистых” почвах содержание углерода минимально – 1,70 % или 74,89 % от фона, средняя скорость гумусообразования в этом случае составляет 0,74 % за тысячелетие.

То же относится и к запасам гумуса. Средние запасы гумуса в новообразованных почвах городища – 70,88 т/га в слое 0-20 см, что составляет 67,44 % от фонового. Из всех разрезов Павлинова городища наиболее высокими

запасами гумуса характеризуются наиболее нарушенные из них. Самые большие запасы гумуса наблюдаются в разрезах, заложенных в центре жилища: 115,2 и 103,4 т/га в слое 0-20 см. По-видимому, высокая гумусированность почв жилища связана с обрушением ее кровли, которая была сложена из дерна.

Почвы разреза 10-01, заложенного на внутреннем валу, наиболее “загрязненного” антропогенным веществом, также отмечены запасами гумуса выше среднего по городищу: 75,8 т/га или 72,1 % от фона. В наиболее “чистом” разрезе 22-01 запасы гумуса минимальны и составляют 67,0 т/га в слое 0-20 см, или 63,7 % от фона (рис. 3.3.16).

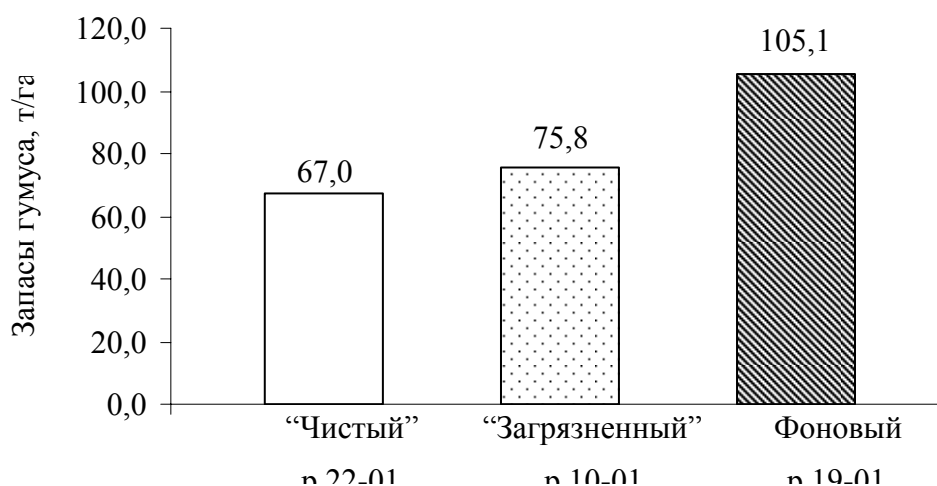


Рис. 3.3.16. Запасы гумуса в новообразованных 2,3-тысячелетних почвах Павлинова городища в сравнении с фоновыми в слое 0-20 см, т/га.

Общее содержание гумуса в относительно молодых черноземных почвах, имеющих возраст 2,3 тысяч лет, не достигает такового в фоновых почвах, имеющих голоценовый возраст. При этом запасы гумуса в новообразованных 2,3-тысячелетних почвах, содержащих в себе антропогенное вещество, оказываются выше, чем в случае его отсутствия.

ГРУППОВОЙ СОСТАВ ГУМУСА

Групповой состав гумуса – это набор и количественное содержание групп специфических и неспецифических веществ, входящих в его состав. В узком смысле этот показатель характеризует отношение процентного содержания углерода гуминовых кислот к содержанию углерода фульвокислот (СГК/СФК). Для черноземных почв этот показатель обычно изменяется в пределах 1,5 - 2,0, что соответствует фульватно-гуматному типу гумуса (Орлов, 1992).

В зональных почвах Павлинова городища в составе гумуса наблюдается преобладание ГК над ФК (соотношение СГК/СФК = 1,26; 1,73 и 1,30 в горизонтах А_д, А и В₁ соответственно). Меньшие величины СГК/СФК в дернине связаны с обогащением поверхностных слоев малоразложившимися органическими остатками и связанным с этим относительным накоплением фульвокислот.

В дернине новообразованных дневных почв разных разрезов Павлинова городища значения СГК/СФК колеблются от 1,38 до 2,20 (в среднем – 1,26), в гумусовом минеральном горизонте – от 1,39 до 3,75 (в среднем - 2,17). Высокие коэффициенты вариации по этому показателю в новообразованных почвах (22,75 % для гор.А_д и 42,18 % для гор.А) связаны с различным первоначальным состоянием почвообразующих пород, которыми в большинстве случаев служит КС. Наиболее высокие значения отношения СГК/СФК отмечены в разрезах с большей степенью антропогенной нагрузки, а также с высокой первоначальной гумусированностью выкида (насыпи). Максимальной величиной СГК/СФК (3,75) характеризуется наиболее “загрязненный” разрез на внутреннем валу.

В отсутствие факторов, обуславливающих внесение в почвы антропогенного вещества, отношение СГК/СФК минимально (1,42), отражая, на наш взгляд, объективную оценку для данного показателя в условиях “чистого почвообразования” у новообразованных за 2,3 тыс. лет почв.

Новообразованные за 2,3 тысячи лет в условиях "чистого" почвообразования почвы по групповому составу гумуса практически не отличаются от фоновых черноземных почв голоценового возраста. Новообразованные почвы, формирующиеся на КС, загрязненном антропогенным веществом, отличаются значительно более высоким отношением $C_{гк}/C_{фк}$ в составе гумуса.

ФРАКЦИОННЫЙ СОСТАВ ГУМУСА

Фракционный состав гумуса зональных почв фонового разреза 19-01 характеризуется преобладанием ГК-1 над ГК-2 и ГК-3 (31,03 % от общего углерода против 12,50 % и 18,53 % в гумусовом горизонте). В нижних горизонтах это соотношение меняется и преобладающей становится фракция ГК-2 (в гор. В₂ – 2,91 %, 27,19 % и 13,59 % соответственно), что связано с накоплением карбонатов вниз по профилю. При этом содержание ГК уменьшается вниз по профилю, а содержание ФК – увеличивается.

В отличие от фоновых почв, в составе новообразованного гумуса в наиболее нарушенных участках наблюдается резкое преобладание ГК-2, – до 37,25 % на внутреннем валу, что в 2,6 раза выше, чем в фоне. Заметное преобладание второй фракции ГК в новообразованных почвах на валах объясняется относительно высоким содержанием кальция в насыпях “искусственных” почвообразующих пород, изъятых с глубины соседнего профиля (рва). В случае с новообразованными почвами внутри городища, то, как мы указывали выше, высокое содержание кальция связано с его высвобождением в результате разложения антропогенных включений в КС, главным образом - костей.

Новообразованные почвы, формирующиеся на незагрязненных почвообразующих породах, отличаются преобладанием ГК-1 (27,06 %) над ГК-2 (16,47 %) в гор. А. Фракция ГК-3 - минимальна (7,06 %) и близка к содержанию ГК-3 в почвообразующей породе (7,69 %).

Новообразованные 2,3-тысячелетние почвы, формирующиеся на КС с высоким содержанием кальция, отличаются преобладанием второй фракции ГК в составе гумуса. В случае почвообразования на "чистых" почвообразующих породах во фракционном составе таких почв преобладает фракция ГК-1 – свободных и связанных с полуторными окислами гуминовых кислот.

ОПТИЧЕСКИЕ ПЛОТНОСТИ

ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ

Как уже было сказано выше, оптические плотности ГК напрямую зависят от их относительной зрелости. Наибольшие величины оптической плотности ГК наблюдаются у фоновых голоценовых (зрелых) почв (см. табл. 3.3.6).

Новообразованные почвы "чистого" разреза (р.22-01) характеризуется минимальными, ниже фоновых, значениями этого показателя для гуминовых кислот всех трех фракций. Новообразованные почвы "загрязненного" разреза имеют большие, по сравнению с "чистым", величины оптической плотности ГК, близкие к фоновым, а для фракции ГК-1 – даже превосходящие их. Данный факт связан с внесением в КС углеродсодержащего вещества антропогенного происхождения с высокой степенью конденсированности, что уже отмечалось при характеристике КС Павлинова городища.

Таким образом, величина оптической плотности ГК зачастую зависит не только от степени их зрелости, но и от степени нарушенности почв: при внесении в почвы антропогенного материала эти значения могут резко увеличиваться. В условиях же "чистого" почвообразования можно говорить о недостаточности временного интервала в

2,3 тыс. лет для формирования зрелых макромолекул ГК, подобных фоновым.

В целом, подводя итог изучению восстановлению почв в местах длительного проживания человека, можно выделить следующие особенности:

1. Сравнительная характеристика почв, сформировавшиеся за 2,3 тыс. лет на КС, “загрязненном” антропогенным веществом, и почв, формирующихся на относительно чистых почвообразующих породах, показала, что в первом случае почвы отличаются большими показателями, характеризующими почвенное плодородие.

На загрязненном антропогенным веществом КС по сравнению с “чистыми” почвообразующими породами отмечены следующие особенности:

- быстрее формируются гумусовые горизонты (в условиях Павлинова городища – 0,70 против 0,57 см за столетие);
- запасы гумуса в таких почвах оказываются больше (75,8 против 67,0 т/га в слое 0-20 см);
- в них отмечаются иные показатели качественного состава гумуса: отношение СГК/СФК выше, содержание фракции ГК-2 больше;
- отмечена большая степень конденсированности макромолекул ГК.

Кроме того, такие почвы характеризуются лучшими агрохимическими показателями:

- они менее кислые;
- в них отмечено значительно большее количество легкоусвояемых растениями элементов питания;
- дифференциация этих почв по валовому химическому составу происходит быстрее.

На антропогенно нарушенных почвах общее количество обнаруженных видов растений несколько превышает фоновое количество, а средняя высота травянистых растений в 1,1 - 1,2 раза выше фоновой. Данный факт мы также связываем с указанными выше причинами.

2. Несмотря на то, что восстановление почв идет по зональному черноземному типу, изучаемого времени в 2,3 тыс. лет на выбросах "чистых" почвообразующих пород недостаточно для формирования почв, полностью аналогичных зональным черноземным как по морфологическим, так и по ряду физико-химических показателей, в том числе, что наиболее важно, – по гумусному состоянию.

За 2,3 тыс. лет на незагрязненных ("чистых") почвообразующих породах сформировались гумусовые горизонты, мощность которых составляет менее половины (44,8 %) от фона. Средняя скорость образования гумусовых горизонтов в данных условиях составляет 0,57 см за столетие. Имеются отличия и в качественном составе гумуса – относительное содержание "типовой" молекулы ГК второй фракции в таких почвах меньше. Оптические плотности ГК, характеризующие их зрелость, также оказались ниже фоновых. Новообразованные почвы содержат меньшие, по сравнению с фоновыми голоценовыми почвами, количества доступных растениям элементов питания, в таких почвах не происходит полная дифференциация по валовому химическому составу.

В заключении еще раз подчеркнем, что "загрязнение" КС не является полным аналогом современных техногенных и антропогенных загрязнений как по составу загрязнителей, так и по масштабам этого процесса.

Рекомендуемая литература

Герасимова М.И. Антропогенные почвы: генезис, география, рекультивация / М.И. Герасимова [и др.]. – Смоленск : Ойкумена, 2003. – 268 с.

Демкин В.А. Палеопочвоведение и археология: интеграция в изучении природы и общества / В.А. Демкин. – Пушкино : ОНТИ ПНЦ РАН, 1997. – 213 с.

Дергачева М.И. Археологическое почвоведение / М.И. Дергачева. – Новосибирск : СО РАН, 1997. – 228 с.

Махонина Г.И. Развитие подзолистых почв на археологических памятниках в подзоне средней тайги Западной Сибири / Г.И. Махонина, И.Н. Коркина // Почвоведение. – 2002. – № 8. – С. 917–927.

Махонина Г.И. Формирование подзолистых почв на археологических памятниках в Западной Сибири / Г.И. Махонина, И.Н. Коркина. – Екатеринбург: Академкнига, 2002. – 264 с.

Махонина Г.И. Археологическое почвоведение в системе знаний о взаимоотношениях природы и человека / Г.И. Махонина, В.В. Валдайских // Изв. Урал. гос. ун-та. Серия 1. Проблемы образования, науки и культуры. – 2007. – Вып. 20. – С. 219–226.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведенные в данном учебном пособии сведения о типах нарушении почв, о видах мониторинга почв, а также изложенные экспериментальные данные не претендуют по своей полноте на освещение всех вопросов по теме “Мониторинг нарушенных земель”. Поэтому отправляем интересующегося читателя к дополнительной литературе, приведенной в конце каждого раздела. Основная задача пособия – показать, что изучение почв археологических памятников, как хранителя исторической информации, может занимать важное место как в почвенно-экологических, так и в междисциплинарных исследованиях, позволяя решать вопросы, связанные с историей человеческого общества и его взаимоотношения с природой.

Несмотря на длительный срок постантропогенной эволюции, почвы мест длительного проживания древнего человека, а также прилегающих к древним захоронениям территорий, так и не смогли принять свой первоначальный облик. Места длительного проживания человека нами были охарактеризованы на примере Павлинова городища. Отличительной чертой таких почв является наличие в их профиле КС – специфического продукта непосредственного, наиболее тесного и длительного контакта человека с почвой. КС представляет собой результат процесса преобразования почв в процессе деятельности древнего человека и характеризуется значительными изменениями и пестротой по морфологическим, физическим и химическим свойствам, что определяется характером и интенсивностью этой деятельности.

В ходе изучения прилегающих к особо крупным курганам территорий (на примере кургана “Бабий Бугор” и могильника “Скаты”) было показано, что для их сооружения снимались гумусовые горизонты с большой площади. Нарушения, связанные с постройкой большого кургана, по площади могут занимать значительную часть ландшафта, в десятки раз превышая площадь участка, занятого самим курганом. Археологические памятники могут служить моделями при изучении формирования новообразованных почв, после

их нарушений, для выявления всего хода процесса почвообразования. Почвы, сформированные за 2,5 тысячи лет в условиях лесостепи Западной Сибири на обнажениях почвообразующих пород археологических памятников, значительно уступают зональным черноземным почвам голоценового возраста по целому ряду показателей. Они слабее дифференцированы на горизонты А и В₁, содержат меньшие количества доступных растениям биофильных элементов, запасы гумуса в них почти в два раза меньше фоновых. Можно говорить о незавершенности по истечении указанного срока процесса образования карбонатного горизонта в профиле черноземов выщелоченных. Этого времени недостаточно для формирования “типовой” молекулы гуминовых кислот, для полной дифференцировки профиля по гранулометрическому составу. Можно предполагать, что наибольшие ХВ (характерные времена) для указанных почв соответствует таким признакам, как накопление гумуса, формирование валового химического состава, распределение по профилю илистой фракции в гранулометрическом составе почв.

Нарушая и разрушая почвенный покров, необходимо всегда помнить, что формирование зрелых почвенных профилей – длительный процесс, продолжающийся в течение столетий и тысячелетий. Длительность почвообразования в наибольшей степени характерна для черноземных почв, значение которых трудно переоценить как в экономическом, так и в биогеоценотическом отношении. Черноземные почвы вносят немаловажный вклад в поддержание гомеостаза планеты. С другой стороны, трудно найти природный объект, наиболее тесно связанный с историей развития и становления современной цивилизации.

Все вышеизложенное позволяет заключить, что черноземные почвы, как и почвы вообще, требуют всемерной охраны как незаменимый компонент биосферы.